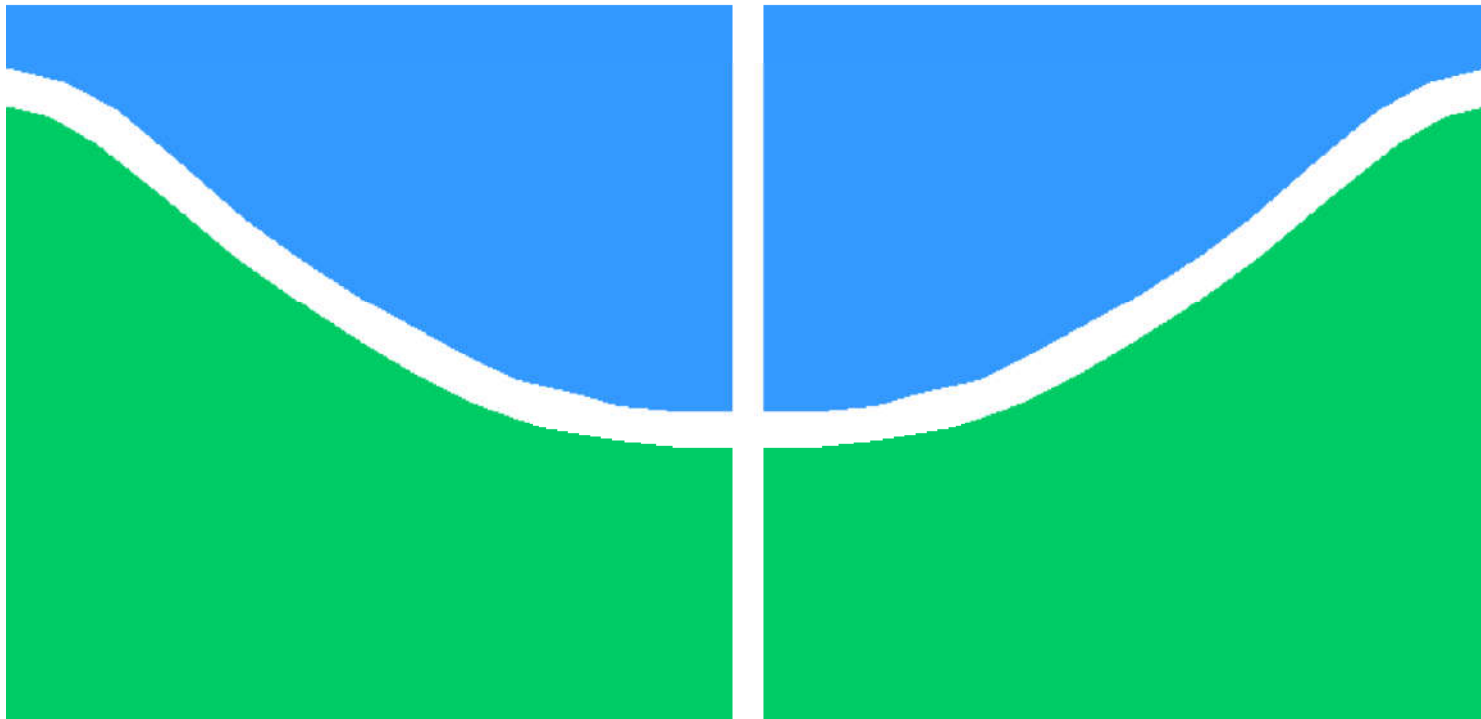




Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia

Análise da Qualidade de Iluminação - Estudo de caso Campus Gama

Autor: Jéssica Ribeiro do Nascimento
Orientador: Dr. Jorge Cormane

Brasília, DF
2017



Jéssica Ribeiro do Nascimento

Análise da Qualidade de Iluminação - Estudo de caso Campus Gama

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. Jorge Cormane

Brasília, DF

2017

Jéssica Ribeiro do Nascimento

Análise da Qualidade de Iluminação - Estudo de caso Campus Gama/ Jéssica
Ribeiro do Nascimento. – Brasília, DF, 2017-

76 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. Jorge Cormane

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2017.

1. Iluminação. 2. Qualidade. I. Dr. Jorge Cormane. II. Universidade de
Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Análise da Qualidade de Iluminação -
Estudo de caso Campus Gama

CDU 02:141:005.6

Jéssica Ribeiro do Nascimento

Análise da Qualidade de Iluminação - Estudo de caso Campus Gama

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 05 de julho de 2017:

Dr. Jorge Cormane
Orientador

Doutor Luciano Noletto
Convidado 1

Doutor Alex Reis
Convidado 2

Brasília, DF
2017

*Esse trabalho é dedicado a meu querido avô,
pelo amor e carinho que recebi.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e sabedoria, me possibilitado chegar até aqui.

A minha família, em especial à minha mãe Jandira, meu pai Edilson, minha avozinha Rita, minha irmã Érica pessoas indispensáveis em minha vida, por todo o apoio e incentivo, além de admiração e carinho, que foram alicerces importantes no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu querido Herick, pelas inúmeras demonstrações de compreensão e afeto.

Agradeço aos professores da FGA, em especial ao meu orientador Jorge Cormane por todo o ensinamento e paciência comigo em todos esses anos de pesquisa, muito obrigada por toda a confiança depositada em mim.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos, em especial a Kálina, Maria, Bárbara Sacundina, Renatinha, Gabi, Igor Time e Marcella por me apoiarem e ajudar quando precisei.

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem
foram conquistadas do que parecia impossível.”
(Charles Chaplin)*

Resumo

Dado o momento de crise energética vivido pelo Brasil, com uma matriz predominantemente hídrica e condições meteorológicas desfavoráveis, surge a necessidade de se adaptar aos recursos disponíveis. Este trabalho concentra-se na qualidade do uso final de energia elétrica para amenizar o problema. Realizou-se uma avaliação do sistema de iluminação dos edifícios UAC - Unidade Acadêmica e UED - Unidade de Ensino e Docência, localizado na cidade do Gama. A necessidade do estudo, bem como a escolha da edificação foram motivadas pela publicação da Instrução Normativa nº de 04 de Junho de 2014, que torna obrigatória a classificação dos edifícios públicos federais, em construção ou em caso de retrofit, no Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações. Pôde-se observar através das condições atuais das edificações que a maioria das salas não atendem aos requisitos da norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 que rege as condições mínimas necessárias para iluminação em ambientes de internos. Diante dessas inconformidades, utilizou-se o software DIALux para a realização de uma proposta de retrofit.

Palavras-chaves: Eficiência Energética, Qualidade de Iluminação, DIALux.

Abstract

Given the present moment of energetic crisis seen in Brazil, facing a dry period and having its main energy matrix based on hydroelectricity, arises a necessity to adapt to the use of natural resources available. This paper focused on the quality of the end use of electricity so can problem can be eased. An analysis of the energy consumption of a lighting system from the Brasília Univesity buildings,located in the city of Gama was made. The need of this study is given by a Legal Federal Instruction n. of 2014 June 14, which requires the classification of federal buildings in the National Labelling Program for Buildings in case of construction or retrofit. It was observed that the building conditions did not meet the standard requirements for lighting in the workplace given by the ISO norm NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Due to the nonconformities, the DIALux simulation software was used to do the retrofit proposition.

Key-words: Energy Efficiency, Illumination Quality, DIALux.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Representação do consumo mundial de energia elétrica (ENERDATA, 2016)	17
Figura 2 – Consumo de energia elétrica por região(EPE, 2016a)	18
Figura 3 – Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações. (PROCEL, 2016)	20
Figura 4 – Univesidade de Brasília - Faculdade Gama	23
Figura 5 – Vista do prédio UAC no DiaLux	24
Figura 6 – Vista do prédio UED no DiaLux	24
Figura 7 – <i>Checklist</i> para a coleta de dados	25
Figura 8 – Luxímetro Digital Modelo MLM-1011	28
Figura 9 – Simulação da sala I9 - Prédio UAC e do laboratório de Eletricidade - Prédio UED.	35
Figura 10 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 67W.	35
Figura 11 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 40W.	36
Figura 12 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 40W.	37
Figura 13 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 100W.	37
Figura 14 – Gráfico de cores falsas: (a) Situação Atual e (b) Proposta.	42
Figura 15 – À esquerda: Resultado do laboratório de química com luz natural. À direita: Resultado do laboratório de química sem luz natural	43
Figura 16 – À esquerda: Resultado da sala da direção com 6 luminárias. À direita: Resultado com 10 luminárias.	43
Figura 17 – Fluxo de caixa do investimento no período de 14 anos.	45
Figura 18 – (a) Representação 3D da sala I9, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	50
Figura 19 – (a) Representação 3D da sala I8, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	51
Figura 20 – (a) Representação 3D da sala I7, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	52
Figura 21 – (a) Representação 3D da sala I3, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	53
Figura 22 – (a) Representação 3D da sala I10, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	54

Figura 23 – (a) Representação 3D da sala I10 interna, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	55
Figura 24 – (a) Representação 3D da secretaria, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	56
Figura 25 – (a) Representação 3D da biblioteca, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	57
Figura 26 – (a) Representação 3D da sala interna da biblioteca, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	58
Figura 27 – (a) Representação 3D da sala s9, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	59
Figura 28 – (a) Representação 3D da sala S8, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	60
Figura 29 – (a) Representação 3D da sala S7, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	61
Figura 30 – (a) Representação 3D da sala S5, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	62
Figura 31 – (a) Representação 3D da sala S4, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	63
Figura 32 – (a) Representação 3D da sala S10, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	64
Figura 33 – (a) Representação 3D da sala Direção, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	65
Figura 34 – (a) Representação 3D da sala de Reunião, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	66
Figura 35 – (a) Representação 3D do laboratório de química, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	67
Figura 36 – (a) Representação 3D do laboratório de análise instrumental, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	68
Figura 37 – (a) Representação 3D do laboratório de física - 1, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	69
Figura 38 – (a) Representação 3D do laboratório de física - 2, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do <i>retrofit</i>	70
Figura 39 – (a) Resultado da simulação com luz natural no laboratório de química e (b) resultado da simulação sem luz natural.	71
Figura 40 – (a) Resultado da simulação com luz natural no laboratório de análise e (b) resultado da simulação sem luz natural.	72
Figura 41 – (a) Resultado da simulação com luz natural da direção e (b) resultado da simulação sem luz natural.	73

Figura 42 – (a) Resultado da simulação com luz natural da sala de reunião e (b)	
resultado da simulação sem luz natural.	74
Figura 43 – (a) Resultado da simulação com luz natural do laboratório de materiais	
e (b) resultado da simulação sem luz natural.	75
Figura 44 – (a) Resultado da simulação com luz natural do laboratório de eletrici-	
dade e (b) resultado da simulação sem luz natural.	76

Lista de tabelas

Tabela 1 – Condições luminosas em ambientes de trabalho (ABNT, 2013).	26
Tabela 2 – Tamanhos da malha(ABNT, 2013).	27
Tabela 3 – Densidade de Potência máximos para cada nível (PROCEL, 2016) . . .	29
Tabela 4 – Sistema de iluminação atual - Prédio UAC. Fonte: Elaboração Própria.	30
Tabela 5 – Sistema de iluminação atual - Prédio UED. Fonte: Elaboração Própria.	31
Tabela 6 – Potência máxima (W) para cada nível de Eficiência	33
Tabela 7 – Iluminância no térreo do prédio UAC - 15/05/2017 às 09:00.	33
Tabela 8 – Iluminância no térreo do prédio UED - 13/05/2017 às 10:00.	34
Tabela 9 – Sistema de iluminação proposto - Prédio UAC. Fonte: Elaboração Própria.	37
Tabela 10 – Sistema de iluminação proposto - Prédio UED. Fonte: Elaboração Própria.	39
Tabela 11 – Iluminância no térreo do prédio UAC.	41
Tabela 12 – Iluminância no térreo do prédio UED.	41
Tabela 13 – Iluminância no térreo do prédio UED.	42
Tabela 14 – Dados de fluxo de caixa para análise financeira da proposta.	44
Tabela 15 – Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para a proposta. . .	44

Sumário

	Introdução	15
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.1	Motivação	17
1.2	Eficiência Energética no Brasil	18
1.2.1	Sistema de iluminação eficiente	20
2	MÉTODOS	23
2.1	Análise das Edificações	23
2.2	Coleta de dados	24
2.2.1	Requisitos de iluminação	25
2.2.2	Densidade de Potência de iluminação	28
3	RESULTADOS	30
3.1	Densidade de Potência - Condições Atuais	30
3.2	Condições de Iluminância Atuais	33
3.3	Simulação com Software DIALux	34
3.4	Proposta de <i>retrofit</i>	36
3.4.1	Densidade de Potência e Iluminância média	37
3.4.2	Adaptação do <i>retrofit</i>	41
3.4.3	Análise Financeira da Proposta	43
4	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICES	49
	APÊNDICE A – SIMULAÇÃO DO PRÉDIO UAC	50
A.1	Sala I9	50
A.2	Sala I8	51
A.3	Sala I7	52
A.4	Sala I3	53
A.5	Sala I10	54
A.6	Sala I10 Interna	55
A.7	Secretaria	56

A.8	Biblioteca	57
A.9	Biblioteca Interna	58
A.10	Sala S9	59
A.11	Sala S8	60
A.12	Sala S7	61
A.13	Sala S5	62
A.14	Sala S4	63
A.15	Sala S10	64
	APÊNDICE B – SIMULAÇÃO DO PRÉDIO UED	65
B.1	Direção	65
B.2	Sala de Reunião	66
B.3	Laboratório de Química	67
B.4	Laboratório de Análise Instrumental	68
B.5	Laboratório de Física - 1	69
B.6	Laboratório de Física - 2	70
	APÊNDICE C – SIMULAÇÃO SEM LUZ NATURAL APÓS RE-	
	TROFIT	71
C.1	Laboratório de Química	71
C.2	Laboratório de Análise	72
C.3	Direção	73
C.4	Sala de Reunião	74
C.5	Laboratório de Materiais	75
C.6	Laboratório de Eletricidade	76

Introdução

A importância e o papel dos esforços em melhorias nos usos finais de energia por diversos setores de consumo mostraram-se fundamentais para controlar a grave crise de abastecimento de eletricidade no Brasil, ocorrida durante o ano de 2001.

O Brasil possui uma matriz elétrica predominantemente hídrica, aproximadamente 64% de toda a energia elétrica gerada, uma participação bem maior de renováveis que em outros países (EPE, 2016b). Porém, o clima brasileiro vem se mostrando desfavorável para a situação energética nos últimos anos, os períodos de maior incidência de chuvas foram substituídos por períodos de estiagem, prejudicando a capacidade de geração das grandes usinas. Paralelamente, a demanda de energia aumenta. Este fator tem duas principais motivações, o aumento da população no país, bem como o aumento da sua renda per capita. O aumento da renda gera uma necessidade maior por conforto, com maior poder financeiro a aquisição de eletrodomésticos, climatizadores e outros bens que demandam energia elétrica elevam-se.

Atualmente, os investimentos no sistema elétrico são predominantemente governamental. A maior parte desses investimentos são para o aumento da oferta de energia, como construções de novas usinas e ativações de usinas construídas para emergências. Porém existem alguns problemas em investir no aumento da oferta de energia elétrica, principalmente se há ativações das usinas termoeletricas.

Estas usinas foram construídas para funcionar apenas alguns meses por ano, porém, no ano de 2015 não ficaram inativas. O problema é que este é um tipo de energia de alto custo, prejudicando o consumidor final da energia, sofrendo financeiramente com o aumento do custo da energia. Já a construção de novas usinas, por muitas vezes possuem características de falta de planejamento, uma vez que são construídas longe dos grandes centros, precisando de alto investimento em linhas de transmissão para transportá-las, tornando-a mais cara.

Neste momento uma solução muito prudente é pensar em amenizar o problema através de medidas de Eficiência Energética (EE) no uso final, para o controle da demanda. Como incentivo, foram tomadas medidas para a contenção do consumo energético e a racionalização da energia, como a institucionalização do Programa Brasileiro de Etiquetagem que obriga a exibição nos equipamentos do seu nível de EE. Mais tarde o programa foi expandido, chegando nas edificações comerciais, públicas e de serviços com a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que avalia a eficiência da edificação em três quesitos: envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

Em um primeiro momento foram analisadas as condições luminosas do ambiente

que, por se tratar de um ambiente de trabalho deve se ajustar a norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013, para isso foram realizadas medições com o uso de um Luxímetro. Além disso, analisaram-se também as condições da densidade de potência da iluminação (W/m^2), bem como todos os critérios necessários para a classificação de uma edificação nos níveis de eficiência da ENCE. A partir daí, utilizando o software DIALux recomendado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), foram realizadas simulações para que o sistema se adaptasse tanto à norma de iluminação em ambientes de trabalho quanto aos níveis adequados na ENCE. Por fim, as simulações também possibilitaram a realização de um estudo de viabilidade econômica da proposta.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a qualidade da iluminação nas salas mais utilizadas por professores e alunos, bem como realizar a proposta de *retrofit* do sistema de iluminação para que seja assegurada que a iluminância média para cada ambiente esteja de acordo com a norma.

1 Revisão Bibliográfica

Nessa seção será abordado o histórico da relação do Brasil com o conceito de eficiência energética, bem como os programas incentivados pelo governo. Também será abordado as regulamentações que estabelecem os padrões mínimos de iluminação a serem seguidos no setor público.

1.1 Motivação

É incontestável o aumento da demanda mundial por energia elétrica nas últimas décadas. Os fatores que contribuíram para este aumento foram o desenvolvimento do parque industrial, a modernização da agricultura, o aumento da capacidade de consumo da população e a elevação dos níveis de conforto individual e familiar. O consumo mundial de energia elétrica teve um aumento de aproximadamente 56% ao se comparar os anos de 2015 e 2000, ilustrado na Figura 1. Nesse cenário, o consumo do setor de edifícios, que consiste em usuários finais residenciais e comerciais, representa 20% da energia total entregue consumida em todo o mundo (EIA, 2016). Tal realidade, no entanto, confronta diretamente com as atuais diretrizes de redução no consumo de energia, particularmente voltadas à eficiência energética e preservação ambiental, destacando o conceito de sustentabilidade.

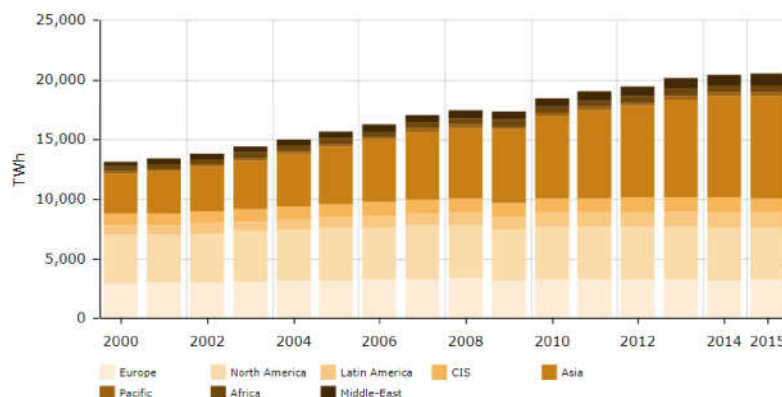


Figura 1 – Representação do consumo mundial de energia elétrica (ENERDATA, 2016)

Em contra partida, a demanda de energia elétrica no Brasil em 2015 diminuiu em 2% se comparado com 2014, como é evidenciado na tabela 2, esse decréscimo está relacionado com a recessão econômica a qual o Brasil se encontra. Outro motivo é o fato da matriz energética brasileira ser dependente da geração de energia elétrica por fontes hídricas, que com as recentes mudanças climáticas e diminuição dos índices pluviométricos, tal fonte apresentou uma redução de 3,7% na comparação com o ano anterior (EPE, 2016b).

O panorama atual mostra a necessidade de encontrar uma solução para a atual situação energética do país. Os planos energéticos nacionais tem focado no aumento da oferta, entretanto os investimentos com essa finalidade não estão sendo planejados adequadamente e tem apresentado um resultado oposto ao desejado, tornando-se um agravante (MME, 2007).

	2011	2012	2013	2014	2015	$\Delta\%$ (2015/2014)	Part. % (2015)	
Brasil	433.016	448.178	463.134	474.823	465.203	-2,0	100	Brazil
Norte	27.759	29.100	30.209	32.364	33.534	3,6	7,2	North
Nordeste	71.914	75.610	79.694	80.746	79.985	-0,9	17,2	Northeast
Sudeste	230.668	235.259	240.084	242.513	234.812	-3,2	50,5	Southeast
Sul	74.470	77.491	80.393	84.819	82.012	-3,3	17,6	South
Centro-Oeste	28.205	30.718	32.755	34.381	34.860	1,4	7,5	Midwest

Figura 2 – Consumo de energia elétrica por região (EPE, 2016a)

Além disso, existem outras barreiras para a expansão da oferta de energia elétrica. Por exemplo, as grandes usinas de energia tentam controlar o mercado, mantendo os preços da energia baixos artificialmente quando os custos de geração sofrem um grande aumento. Este fator traz para o país a cultura de que apenas grandes concessionárias podem fornecer energia de qualidade a baixo preço, o que tende a prejudicar o aumento da co-geração com pequenas usinas hidrelétricas bem como outros tipos de energia de menor impacto (HOLLANDA; ERBER, 2009)

1.2 Eficiência Energética no Brasil

Entende-se por eficiência energética a realização de uma mesma atividade, utilizando menos energia, mantendo a mesma qualidade do resultado final. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais (internas) com menor consumo de energia. Não se trata da redução do serviço energético, mas da redução do consumo de energia, associando-se ao uso eficiente e racional da energia elétrica. A eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como o potencial inerente a cada edificação de promover conforto térmico, acústico e visual com uso da menor quantidade de energia possível. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2002)

A importância da eficiência energética é evidenciada e, equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser analisados em termos da conservação da energia tendo sido demonstrado que, de fato, muitas iniciativas que resultam em maior eficiência energética são economicamente viáveis, ou seja, o custo de sua implantação é menor do que o custo de produzir ou adquirir a energia cujo consumo é evitado (MME/EPE, 2014).

Em 1985, com o agravamento da conjuntura do setor elétrico, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), sob a coordenação da ELETROBRÁS.

O Programa de apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO) que visa promover a eficiência energética no país, por intermédio de apoio a projetos de combate ao desperdício e de racionalização do uso da energia. A criação desses programas provocou mudanças significativas na forma com que as atividades relacionadas com eficiência energética eram conduzidas no país (JANNUZZI et al., 2001). Paralelamente a esses programas, a legislação brasileira no campo de eficiência energética sofreu modificações.

A despeito da promulgação da Lei nº 10.295 de 2001, intitulada como Lei da Eficiência Energética, que objetivava difundir e estimular a eficiência energética, edifícios residenciais, comerciais e públicos são responsáveis por aproximadamente 45% do consumo total de energia elétrica do País, a maior parte dos quais advinda dos sistemas de climatização e de iluminação artificial (JANNUZZI et al., 2001).

A iluminação artificial é responsável por grande parcela de consumo de energia elétrica no país. A fase de operação e uso de edifícios corresponde a aproximadamente 18% de todo o consumo brasileiro de energia e a 50% do consumo de energia elétrica, sendo que nos prédios públicos e comerciais o maior percentual do consumo de energia elétrica resulta desses sistemas: 48% devidos ao condicionamento de ar e 24% à iluminação (ABREU, 2012) (MME, 2007). A iluminação artificial é, portanto, parte imprescindível nas análises que associam sustentabilidade e eficiência energética.

Neste âmbito, a partir de 2005, com base no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que já conferia a alguns equipamentos consumidores de energia a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), desenvolveu-se os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) que contém os requisitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações a partir da avaliação de parâmetros relativos à envoltória, sistema de iluminação e ar-condicionado das edificações comerciais e públicas (PROCEL, 2016).

Basicamente, a avaliação para determinar o nível de eficiência energética é realizada em três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar para realizar a etiquetagem do edifício. Conforme a figura , o nível de eficiência vai de A (mais eficiente) até E (menos eficiente) e segue o RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade) que é um índice que mede o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e público e subsidia a concessão do ENCE (PROCEL, 2016).

A equação geral que determina o nível de eficiência do edifício leva em consideração os três itens, mais bonificações. É possível, também, obter a classificação de apenas um sistema, deixando os demais em aberto (PROCEL, 2016). Com base nisso, percebe-se que o item iluminação é o mais impactante no que se refere ao objetivo de racionalizar o consumo de energia no *Campus* Gama, uma vez que a existência de sistemas de ar condicionado limitam-se a algumas salas.



Figura 3 – Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações. (PROCEL, 2016)

Além desse programa de etiquetagem existe o programa de eficiência energética (PEE), regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem como objetivo promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia, por meio de projetos que demonstrem não somente a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício, mas também a melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia, por meio da troca de equipamentos existentes por outros energeticamente mais eficientes e mudança de hábitos do consumidor final. No mesmo, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica (ELÉTRICA, 2008).

1.2.1 Sistema de iluminação eficiente

Atualmente o termo *retrofitting* é bastante utilizado, que implica na utilização dos conceitos de conservação de energia em sistema de iluminação, através de utilização de equipamentos com tecnologias mais eficientes, de modo a melhorar a eficiência energética de um sistema. Assim sendo, uma correta análise das alternativas e da avaliação dos investimentos se torna necessária para a execução do *retrofitting* (SAMPAIO; BOTURA; LOURENÇOJUNIOR, 2013).

Diversas considerações devem ser feitas para que se consiga determinar com o menor erro possível o valor presente e/ou o tempo de retorno do investimento em análise, citam-se a vida útil de lâmpadas e reatores, implicando em um maior ou menor custo de manutenção no período considerado; o período de funcionamento do sistema em análise, implicando num aumento ou diminuição do custo de energia elétrica alternativa. Em

muitas ocasiões, realizar um *retrofitting* em sistemas de iluminação é importante do ponto de vista da conservação de energia e também para a melhoria da qualidade do ambiente no qual o sistema participa (SAMPAIO; BOTURA; LOURENÇOJUNIOR, 2013).

Segundo Krause e Maia (2002), grande parte dos projetos luminotécnicos está em desconformidade por uma série de motivos: mau hábito de uso, níveis de luminância em desconformidade da normalização, aplicação de equipamentos de baixa eficiência, dentre outros. Portanto, para propor uma modificação é necessário o conhecimento dos conceitos referentes à iluminação além dos pontos críticos que podem sofrer melhorias.

Um sistema de iluminação eficiente consome o mínimo de energia elétrica, mantendo os padrões de conforto visual necessários. Os mesmos são determinados de acordo com as atividades a serem desenvolvidas, mantendo níveis de luminosidade suficientes e bem distribuídos, com luminosidade uniforme e não apresentando áreas de ofuscamento ou de sombras. Devido à grande participação do sistema de iluminação no consumo final de energia elétrica de edificações comerciais, o RTQ-C estabelece níveis mínimos de eficiência ou máximo de consumo para estes sistemas (PROCEL, 2016).

No Brasil, a norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 estabelece os valores de luminosidade média mínimos a serem considerados em um projeto luminotécnico. O conceito de iluminância pode ser dado como a densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual ou ainda o fluxo luminoso nominal incidente por unidade de área iluminada (COSTA, 2006).

Esses níveis de iluminância normalmente são ajustados de acordo com a idade média dos observadores e com os índices de refletância dos planos que delimitam o ambiente (as cores de suas paredes, teto e chão), estes valores são utilizados como um primeiro indicativo da qualidade dos sistemas de iluminação.

Nos setores público e comercial, o consumo de energia é muito influenciado pela alta quantidade de calor gerado no interior do edifício, devido à grande concentração de pessoas e lâmpadas. Com isso, a iluminação artificial e o sistema de condicionamento de ar são os principais consumidores de energia do setor, representando aproximadamente 70% do consumo da categoria (PROCEL, 2016). Desta forma, é necessário unir os sistemas naturais e artificiais para que as condições continuem propícias com o uso consciente.

Para o projeto de sistemas de iluminação eficientes, geralmente se faz necessário o uso de softwares que simulam as condições de iluminação natural e artificial em um ambiente durante o projeto arquitetônico. Alguns dos principais softwares de simulação de iluminação disponíveis no Brasil são o TropLux o ReLux e o DIALux, sendo neste último, possível realizar simulações de iluminação natural e artificial através de um modelo fotorrealístico e acessar informações de luminárias e lâmpadas a partir de seu extenso banco de dados (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2002). Por esse motivo será utilizado

esse software para avaliar a qualidade da iluminação nos prédios da UnB – Campus Gama.

2 Métodos

Esse capítulo apresenta informações sobre os métodos utilizados para a execução do presente trabalho. Inicialmente nesta etapa, foram coletados dados acerca das edificações a serem analisadas, plantas arquitetônicas e dados de potência instalada. As demais informações como os níveis de iluminância de todos os ambientes dos edifícios foram medidas e a sua adequação à norma brasileira de Iluminação em Ambientes de Trabalho (ABNT, 2013) foi analisada. Em seguida, as condições da densidade de potência da iluminação (W/m^2), bem como outros critérios necessários para a obtenção da ENCE foram analisados. A solução para os problemas encontrados foi proposta através de simulações utilizando o software livre DIALux 7.0 que é recomendado pelo PROCEL.

2.1 Análise das Edificações

As edificações a serem avaliadas são ocupadas simultaneamente por alunos e profissionais da Universidade de Brasília - *Campus* Gama mostrado na Figura 4. O *campus* é composto por três edificações, porém serão estudadas os dois edifícios que contém salas de aula.



Figura 4 – Univesidade de Brasília - Faculdade Gama

O edifício UAC - Unidade Acadêmica é composto por dois pavimentos, conforme visto na Figura 5. Os dois pavimentos dispõem de salas de aula, banheiros, laboratórios de informática, biblioteca, cantina, secretaria e auditório. Isto posto, a energia consumida por esta edificação é empregada basicamente para a iluminação e funcionamento de equipamentos como computadores, impressoras, etc.



Figura 5 – Vista do prédio UAC no DiaLux

O edifício UED - Unidade de Ensino e Docência também é composto por dois pavimentos, conforme visto na Figura 6. Nos quais encontram-se laboratórios de informática, laboratórios para prática, auditório, sala dos professores, diretoria. A carga nesse edifício é mais robusta, pois existem equipamentos de grande porte como motores, bombas, entre outros.



Figura 6 – Vista do prédio UED no DiaLux

2.2 Coleta de dados

Para assegurar que todos os dados necessários fossem coletados, utilizou-se como guia um checklist como mostrado na figura 7. Com a ajuda da planta baixa foi montado um esboço das salas destacando o posicionamento das janelas e ângulo em relação ao norte, divisórias e luminárias, bem como a forma de acionamento destas, além de fotos de cada quadrante especificado no checklist que será analisado ao longo deste capítulo.

Levantamento de dados - UED				
Sala				
Uso				
Materiais e cores	Teto			
	Parede			
	Piso			
	Mesas			
	Cadeiras			
	Armários			
	Computadores			
	Outros			
Tipo de Lâmpada	Fluorescente Tubular	T12	T10	T8 T5
	Fluorescente Compacta			
	Incandescente			
	Outra			
Características	Potência (W)			
	Marca			
	Temperatura Cor (K)			
Tipo de Luminária	Aletas Refletoras			
	Aletas Brancas			
	Refletor			
	Fechamento Lateral			
Tempo de vida				
Medição				
Pontos Centrais				
Pontos Laterais				
Extremidades				
Número de filas				
N de luminárias por fila				
Iluminância Média	#DIV/0!			

Figura 7 – Checklist para a coleta de dados

2.2.1 Requisitos de iluminação

Como os edifícios são ambientes de estudo, trabalho, entreterimento e alimentação devem obedecer a Norma Brasileira que rege as condições luminosas em ambientes de trabalho - ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 de 21 de março de 2013 (ABNT, 2013). A norma determina as condições mínimas de *iluminância média* (E_m), *Ofuscamento* (UGRL) e *Índice de Reprodução das Cores* (R_a) para a performance de cada tarefa ou atividade realizada em determinado ambiente. Para fornecer uma indicação objetiva das propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz, foi introduzido o índice geral de reprodução de

cor Ra, cujo valor máximo é 100, variando com a redução da qualidade de reprodução de cor. Segundo as atividades realizadas no edifício analisado, as condições mínimas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições luminosas em ambientes de trabalho (ABNT, 2013).

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em	$UGRL$	Ra
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80
Biblioteca - Estante	200	19	80
Salas de ensino de computador	500	19	80
Salas dos professores	300	22	80
Corredores	100	28	40
Cozinha	500	22	80

O índice de ofuscamento é dificilmente obtido através de medições, em razão disso, utilizou-se o software livre DIALux para simular as condições do ambiente. Já o índice de reprodução das cores pode ser aferido através dos modelos de lâmpadas. A *iluminância média* (Em), cuja a unidade é lux [lx], de acordo com Costa (2006), é a densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual, e é definida como a razão entre o fluxo luminoso incidente em uma superfície e a área que deseja-se analisar.

Outro fato essencial para a qualidade de iluminação é a iluminância no entorno imediato, que deve estar relacionada com a iluminância da área de tarefa, e convém que proveja uma distribuição bem balanceada da luminância no campo de visão. Uma vez que mudanças drásticas nas iluminâncias ao redor da área de tarefa podem levar a um esforço visual estressante e desconforto. O aconselhado para atividades que necessitem 500 lux, 300 lux e menos de 200 lux é que a iluminância no entorno imediato seja de no mínimo 300 lux, 200 lux e mesma iluminância da área de tarefa, respectivamente (ABNT, 2013).

Para a coleta de dados de iluminância empregou-se a norma para Verificação de Iluminância de Interiores - ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 como base. A mesma orienta a verificação da iluminância medida em lux em áreas retangulares, através da iluminância média sobre um plano horizontal. De acordo com norma (ABNT, 2013), a malha de cálculo para determinar a iluminância depende do tamanho e da forma da superfície de referência, da geometria do sistema de iluminação da distribuição da intensidade luminosa das luminárias utilizadas, da precisão requeridas e das quantidades fotométricas a serem avaliadas. O tamanho da malha recomendado para salas e zonas de salas é dado por

$$p = 0.2 * 5 \log_{10} d \quad (2.1)$$

onde é p o tamanho da malha, expresso em metros e d é a maior dimensão da superfície de referência, também em metros. O número de pontos é estabelecido pelo

número inteiro mais próximo da relação d para p . O tamanho da malha recomendado para salas e zonas de salas é dado na Tabela 2

Tabela 2 – Tamanhos da malha (ABNT, 2013).

Ambiente	Maior dimensão da zona ou sala	Tamanho da malha
Área da tarefa	Aprox. 1m	0,2m
Salas/Zonas de salas pequenas	Aprox. 5m	0,6m
Salas médias	Aprox. 10m	1m
Salas grandes	Aprox. 50m	3m

As áreas retangulares são subdivididas em pequenos retângulos, com pontos de cálculo em seu centro e, sua média aritmética fornece a iluminância média. Na condição de a superfície de cálculo possuir uma relação entre largura e comprimento entre 0.2 e 0.5, o tamanho da malha e o número de pontos podem ser determinados com base na maior dimensão da área, do contrário, a menor dimensão deve ser tomada como base para que se estabeleça o espaçamento entre os pontos da malha. Uma vez que o ambiente não possuir forma retangular, o tamanho da malha pode ser calculado de forma análoga através de um retângulo circunscrito na superfície (ABNT, 2013).

As mesas dos estudantes são muitas vezes reorganizadas nas salas de aulas, portanto a área de trabalho deve ser considerada a sala inteira menos uma faixa marginal de 0,5 m de largura. A uniformidade planejada, razão entre o valor mínimo e o valor médio, pode ser $U_1 \geq 0,6$. A experiência mostra que isto é suficiente para garantir que uma uniformidade mínima de 0,7 seja observada nas mesas individuais (ABNT, 2013).

Para a coleta dos valores de iluminância pontuais, foi empregado o Luxímetro Digital Modelo MLM-1011 mostrado na figura 8, que atende as exigências da norma. No momento da coleta dos dados é aconselhável que a temperatura esteja sempre entre 15 e 50 °C. O instrumento possui uma fotocélula com correção do cosseno e de cor. A necessidade da correção se deve ao fato que, em instrumentos sem essa correção, raios que incidem de forma rasante, ou seja, com um ângulo de 90 à fotocélula são refletidos e não são detectados, causando um erro na medida.

Nos prédios do *campus*, as iluminâncias das salas foram aferidas através do padrão de campo de trabalho retangular, iluminados por fontes de luz em padrão regular, simetricamente espaçadas em uma ou mais fileiras que se adequou a todos os ambientes.

A partir deste modelo, as iluminâncias foram medidas a uma altura de 0,7 m e nos laboratórios foram medidos os valores na mesma altura das bancadas que seria a altura de realização do trabalho. Em um primeiro momento foram medidos os pontos centrais. Em seguida, o mesmo foi feito com os pontos de comprimento da sala e os pontos de largura da sala e finalmente, as extremidades.

Com essas medidas realizadas, a iluminância média do ambiente foi calculada pela



Figura 8 – Luxímetro Digital Modelo MLM-1011

média aritmética de todos os pontos conforme descrito no anexo B da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). Alguns ambientes, devido a sua área muito extensa e seus formatos, não se adequavam a um padrão retangular, nestes casos, eles são divididos em quadrantes, e é realizada a média aritmética da iluminância de cada um deles, encontrando-se assim a iluminância média de toda a sala.

2.2.2 Densidade de Potência de iluminação

Existem duas formas de se calcular a densidade de potência instalada de iluminação (DPL_i no edifício: o método das áreas e o método das atividades. O primeiro pode ser utilizado quando o edifício possui no máximo três atividades principais, ou quando elas ocupam mais de 30% do edifício, enquanto o método das atividades classifica cada ambiente de forma individual (PROCEL, 2016).

Os edifícios avaliados se enquadram no segundo quesito, dessa forma, o método das áreas foi o escolhido. Essa metodologia avalia de forma conjunta todos os ambientes do edifício e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Os limites determinados pelo regulamento já consideram a existência de ambientes com funções secundárias, como copas, circulações, escadas e depósitos; desta forma utiliza-se apenas os valores das atividades principais da edificação (PROCEL, 2016).

A avaliação foi realizada seguindo algumas etapas. A primeira é a identificação da atividade principal do edifício e Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPI_L – W/m^2) para cada nível de eficiência. A Densidade de Potência de Iluminação (DPI) é a razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores, e a área de um ambiente (PROCEL, 2016), como mostra a equação 2.2, onde representa a potência total instalada no ambiente e A a área total do ambiente.

$$DPI = \frac{P_{total}}{A} \quad (2.2)$$

A DPLI está relacionada ao nível de iluminância mínimo nos planos de trabalho de cada atividade, para que se utilize apenas a densidade necessária. Esta edificação tem como principal função atividades de escritório, e a DPLI para cada nível de eficiência pode ser observada na 3.

Função do Edifício	Nível A (W/m ²)	Nível B (W/m ²)	Nível C (W/m ²)	Nível D (W/m ²)
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5

Tabela 3 – Densidade de Potência máximos para cada nível (PROCEL, 2016)

Em seguida determinou-se a área iluminada do edifício, e esse valor foi multiplicado pela DPIL já definida para cada nível de eficiência, encontrando assim a potência limite do edifício. Em seguida comparou-se a potência instalada no edifício, que pode ser verificada através da soma das potências de cada ambiente analisado encontrada no checklist, com a potência limite para cada nível de eficiência, determinando assim o nível de eficiência para toda a edificação.

3 Resultados

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os resultados obtidos através das coletas de dados descritas anteriormente, possibilitando assim a definição do nível de eficiência energética do edifício UAC, da Universidade de Brasília - Campus Gama. Além disso, foi realizada uma proposta de *retrofit*, bem como a análise financeira da mesma.

3.1 Densidade de Potência - Condições Atuais

Os edifícios do *campus* foram visitados e os dados coletados foram divididos por andar que os compõem ou por tipo de sala, quando as condições repetiam. Através da inspeção utilizando o *checklist*, os dados coletados a respeito da potência instalada estão apresentados nas Tabelas 4 e 5, onde a potência de iluminação foi obtida com base no conjunto lâmpada/-reator. As luminárias utilizadas variam para cada setor, comportando 1, 2 ou 4 lâmpadas, tendo suas potências variando entre 16W e 250W. Para os reatores, foi considerada a potência média de 3W.

As visitas também foram necessárias para que fossem verificados os tipos de divisões dos circuitos de iluminação. Constatou-se que todos os setores da edificação possuíam um circuito de iluminação específico, e algumas possuem o acendimento por fileiras, permitindo assim o melhor aproveitamento da luz natural, requisito para o enquadramento no nível de eficiência A.

Tabela 4 – Sistema de iluminação atual - Prédio UAC.

Fonte: Elaboração Própria.

Local	Potência Luminárias (W)	Quantidade de Luminárias	Quantidade de Lâmpadas
Área Externa	250	6	6
Auditório	250	5	1
	72	68	2
	64	11	2
Banheiros Femininos	36	32	1
Banheiros Masculinos	36	32	1
Barrilete	32	3	1
Biblioteca	64	50	2
Cantina	64	3	2
Circulação	64	79	2
CPD	64	8	2

Depósito (Térreo)	64	1	2
Déposito de Limpeza	32	3	2
Escada	250	4	1
Hall	64	18	2
Hall atendimento	64	4	2
Hall auditório	64	8	2
Hall recepção	64	8	2
Jardim	320	14	2
Reprografia	64	6	2
Rack (Térreo)	64	1	2
Rampa	64	27	2
Salas Tipo I1	80	48	4
	32	24	2
Salas Tipo I3	80	30	4
	32	12	2
Salas Tipo I6	80	30	4
	32	12	2
Salas Tipo I9	80	36	4
	32	18	2
Sala Tipo I10	80	72	4
Sala Tipo I10 Interna	80	3	4
Salas Tipo S1	80	72	4
	32	36	2
Salas Tipo S5	80	24	4
	32	12	2
Salas Tipo S6	80	30	4
	32	12	2
Secretaria	64	14	2
Sala Multiuso 1, 2 e 3	64	13	2
SOU	64	4	2
Subestação/Quadros	64	3	2
Potência total Edifício		75.066 W	

Tabela 5 – Sistema de iluminação atual - Prédio UED.

Fonte: Elaboração Própria.

Local	Potência Luminárias (W)	Quantidade de Luminárias	Quantidade de Lâmpadas
-------	----------------------------	-----------------------------	---------------------------

Área Externa	250	6	6
Banheiros Femininos	36	13	1
Banheiros Masculinos	36	13	1
Corredor	64	97	2
Direção	64	6	12
Escada	250	2	2
Hall de Entrada	250	5	5
Hall de Saída	250	5	5
Jardim	160	21	21
Rampa	250	8	8
Sala de Reuniões	64	6	12
Salas - Tipo 1	64	32	64
Salas - Tipo 2	64	112	224
Sala AT 25/29	64	4	8
Sala AT 24/29	64	4	8
Sala AT 22/29	64	4	8
Sala AT 19/29	64	12	24
Sala AT 11/29	36	9	9
Sala Laboratório SS	64	23	46
Sala - Lab. NEI + Interna	64	14	28
Sala AT 72/29 (Lab. NEI)	64	11	22
Sala Lab. De Física	64	11	22
Sala Lab. De Física + Interna	64	14	28
Sala 46/7 - Lab. Eletricidade	64	19	38
Sala Lab. De Materiais	64	10	20
Salas Termofluidos (S)	250	5	5
	64	5	10
Sala Termofluidos (I)	64	10	20
Sala AT 16/7 - Lab. Química	64	14	28
Sala - Lab. Análise	64	4	8
Sala AT 11/7 – Copa	64	11	22
Sala AT 11/11 – MOCAP	36	48	48
Sala AT 41/29	64	3	6
Potência total Edifício		45.985 W	

As potências correspondentes para cada nível, que podem ser vistos na Tabela 6, são resultados do produto da densidade de potência de iluminação instalada limite e a área iluminada da edificação. A área iluminada da edificação do edifício UAC é de aproximadamente 4900m^2 , resultado da soma das áreas de todos setores. Quando multiplicada à densidade de potência instalada limite, obtém-se a potência limite para o edifício se enquadrar no nível. A potência total instalada na edificação foi de 75.066W , enquadrando-se no nível C. Para o prédio UED, que tem área iluminada de 4.250m^2 , possui 45.985W de potência instalada de iluminação e se enquadra no nível B.

Tabela 6 – Potência máxima (W) para cada nível de Eficiência

Prédio	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
UAC	52.430 W	60.270 W	68.110 W	75.950 W
UED	45.475 W	52.275 W	59.075 W	65.875 W

3.2 Condições de Iluminância Atuais

A partir da coleta de dados de iluminância nas salas, foi possível verificar se as mesmas estavam acordantes com a norma. Além disso, essas informações foram usadas para realizar a calibração do ambiente nas simulações. Para realizar as mesmas foi estabelecido a data e horário de simulação iguais aos dos dias das medições. Os dados de iluminância média estão apresentados nas Tabelas 7 e 8. O índice de luz natural é dado pela razão entre o nível de luz natural dentro do cômodo e o nível de luz no ambiente externo ao prédio, e considera a luz direta e indireta. Algumas salas possuem o índice muito baixo e não é fornecido pelo software.

Tabela 7 – Iluminância no térreo do prédio UAC - 15/05/2017 às 09:00.

Sala	Iluminância Medida (Em - lux)	Iluminância Simulada (Em - lux)	Luz Natural (%)
Biblioteca	415	437	-
Biblioteca Computadores	212	217	-
Salas I1, I4, I5, I8, S5, S8	303	309 - 327	-
Salas I2, I3	357	375	-
Salas I6, I7	535	558	-
Salas S6, S7	497	521	0,69
Salas I10, S10	568	559 - 598	0,47
Sala I10, S10 Interna	452	460 - 491	0,36
Salas I9, S9	334	338 - 351	0,35
Salas S1, S2, S3, S4	587	622	0,32
Secretaria	607	634	-
Auditório	547	547	-

Quando comparados às condições mínimas apresentadas na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), pode-se afirmar a partir dos dados colhidos sobre as condições de ilumi-

Tabela 8 – Iluminância no térreo do prédio UED - 13/05/2017 às 10:00.

Sala	Iluminância Medida (Em - lux)	Iluminância Simulada (Em - lux)	Luz Natural (%)
Laboratório SS	517	545	-
Laboratório NEI	410	393	-
Laboratório NEI + Interna	491	473	-
Laboratório Física	492	506	0,6
Laboratório Física + Interna	690	704	0,9
Lab. Eletricidade	671	658	2,5
Laboratório Materiais	658	645	2,1
Laboratório Química	490	474	2,1
Laboratório Análise Inst.	507	501	1,6
Salas dos Professores - 26	445	439	-
Laboratório Termofluidos (S)	904	858	2,1
Laboratório Termofluidos (I)	805	793	2,8
Sala de Reunião	839	797	3,9
Direção	430	447	1,8

nação dos ambientes em estudo que apenas poucas salas se enquadram na norma. Por isso, foi necessário propor uma readequação para todas essas salas, com base no desenvolvimento do projeto utilizando o software DIALux. Para que a simulação seja realizada de forma fiel, é exigido um alto nível de detalhamento do ambiente.

3.3 Simulação com Software DIALux

O software Dialux é gratuito usado para projetar, calcular e visualizar iluminação de forma profissional. No mesmo é possível simular tanto a iluminação artificial quanto a natural, considerando local, orientação em relação ao norte, data e hora na simulação.

Primeiramente, as condições dos ambientes foram construídas no DIALux da forma mais fidedigna possível à real. Estas simulações foram utilizadas afim de fazer a calibração das salas, de modo que ao ser realizado o projeto de *retrofit*, o modelo pudesse ser aplicado de forma correta. Para tal, de acordo com a iluminância medida, as refletâncias dos materiais utilizados, bem como o nível de depreciação do ambiente foram sendo ajustadas até atingirem os valores ideais. Estas simulações são apresentadas na Figura 9, em termos de materiais, lâmpadas, mobiliário, entre outros.

Para os ambientes simulados do prédio UED não foi possível achar a luminária com as lâmpadas utilizadas na edificação, por isso utilizou-se um modelo que apresenta os mesmos parâmetros fotométricos. Foram utilizadas luminárias embutidas ao teto, com capacidade para duas lâmpadas de potência 32W e reator de potência 3W, que possuem aletas facetadas em alumínio de alta pureza e refletância que aumentam a eficiência luminosa da luminária. A curva fotométrica está apresentada na Figura 10. Sua curva é aberta

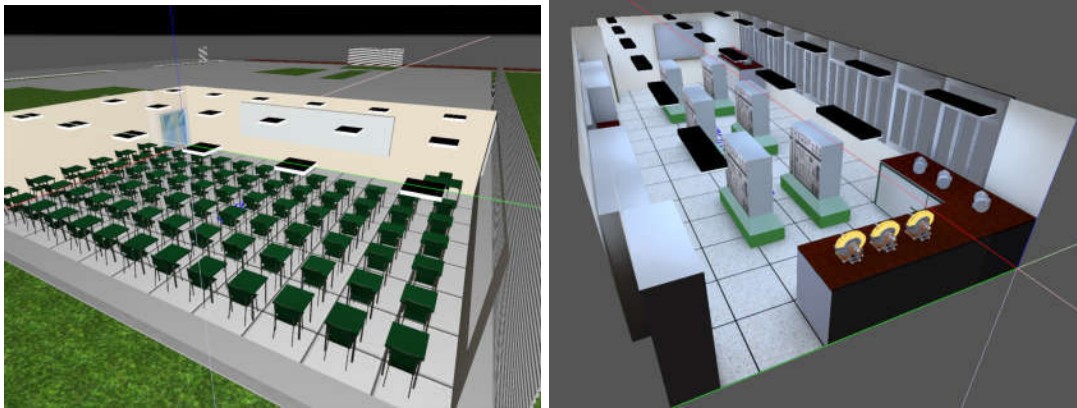


Figura 9 – Simulação da sala I9 - Prédio UAC e do laboratório de Eletricidade - Prédio UED.

do tipo “bat wing”, ideais para ambientes em que são exigidos altos níveis de iluminância e controle de ofuscamento, como ambientes de estudo e trabalho.

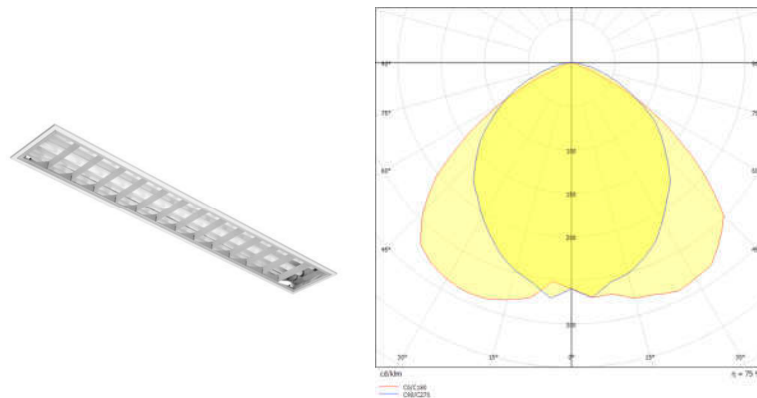


Figura 10 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 67W.

Realizadas as simulações foi possível observar que a iluminância média obtida é muito próxima a medidas no edifício, com erro máximo de 5%, consideravelmente abaixo da magnitude de diferença esperada da norma NBR ISO/CIE 8995-1, de 10%. Esta disparidade tem como principal fator a atribuição de um desempenho fotométrico idêntico para todas as lâmpadas e luminárias (ABNT, 2013). Além disso, foi possível a realização de uma estimativa do consumo energético do sistema de iluminação do ambiente utilizando da ferramenta Energy Evaluation. Os resultados do consumo energético das salas leva em consideração a participação da luz natural na iluminação, possibilitando o uso da contribuição dos circuitos divididos em fileiras. Porém, a conscientização dos funcionários sobre a possibilidade de economia de energia com o uso adequado do sistema deve ser implantada.

3.4 Proposta de *retrofit*

Atualmente as lâmpadas LED (Light Emissor Diode - Diodo Emissor de Luz) estão se tornando cada dia mais conhecidas devido às suas vantagens em relação à durabilidade, eficiência energética e baixo impacto ambiental. Elas são formadas por componentes eletrônicos que emitem luz através de eletroluminescência, transformando energia elétrica em radiação visível. Quando começou a ser utilizada em sistemas de iluminação, era uma tecnologia de alto custo, que levava muito tempo para trazer retornos financeiros. Porém, com o desenvolvimento de novas tecnologias tem havido a redução dos custos de produção e ampliado a diversidade de aplicações.

Devido às suas diversas vantagens o *retrofit* proposto em todo o edifício foi feito sugerindo-se o uso desta tecnologia. Este projeto foi realizado de modo que as luminárias não precisassem ser substituídas totalmente, apenas adicionadas algumas caso necessário. Os parâmetros de eficientização deste módulo consistem na simples troca das lâmpadas e luminárias existentes por modelos equivalentes em LED, buscando a substituição imediata da lâmpada utilizada atualmente.

1. O modelo da lâmpada selecionada para substituir as atuais lâmpadas fluorescentes tubulares (FT) de 32W e de 36W é a lâmpada LED Tubular 20W apresentada na Figura 11, da marca Osram, substitui diretamente uma T8, 1200mm, 5000K (Luz branca fria), certificado pelo Procel e custo médio de R\$ 98,40 por unidade;

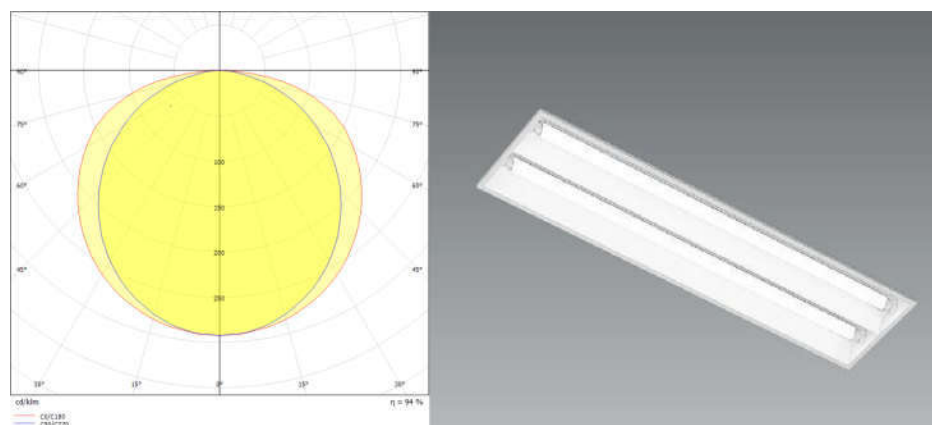


Figura 11 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 40W.

3. O modelo da lâmpada selecionada para substituir as atuais lâmpadas fluorescentes (FT) de 20W e 16W é a lâmpada LED Tubular 10W apresentada na Figura 12, da marca Osram, substitui diretamente uma T8, 600mm, 5000K (Luz branca fria), certificado pelo Procel e custo de R\$ 95,70 por unidade;

4. O modelo escolhido para substituir as atuais lâmpadas de vapor de sódio (VS) de 250W e 160W é o refletor super LED 100W apresentada na Figura 13, da marca

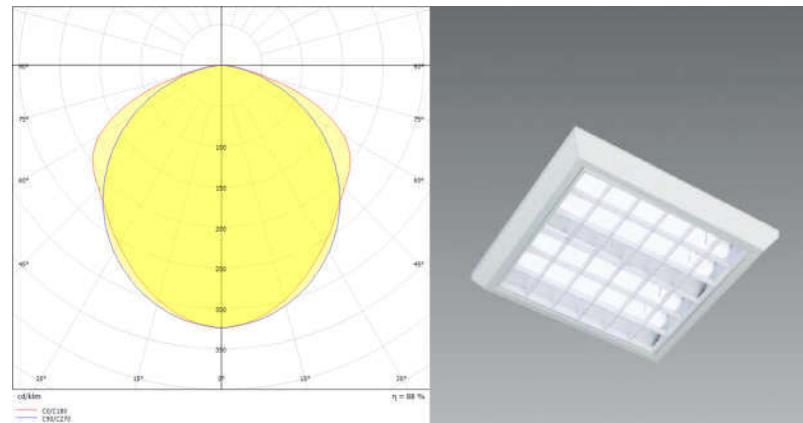


Figura 12 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 40W.

Osram, 5000K (Luz branca fria), certificado pelo Procel e custo de R\$ 1.500,00 por unidade.

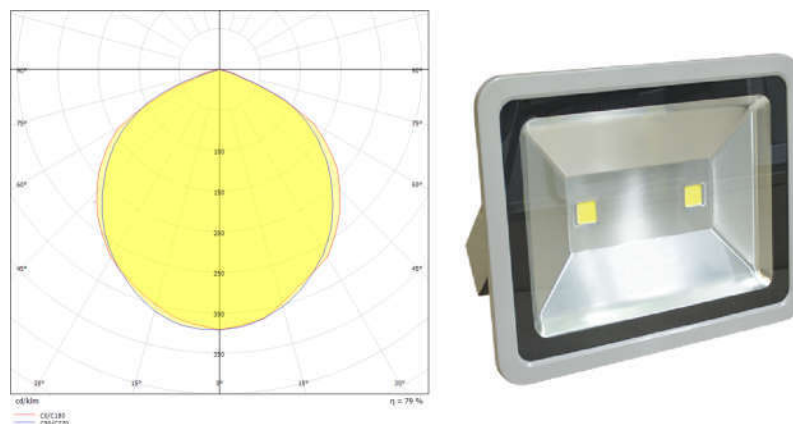


Figura 13 – Curva de distribuição luminosa plana da luminária com aletas refletoras - 100W.

Quando aplicadas as alterações das lâmpadas, bem como a limpeza das luminárias. O ofuscamento obtido através da simulação foi de 19 e o índice de reprodução das cores é 80. O consumo energético foi muito menor, no prédio UED a diferença foi de 88.616,16 kWh/ano e no prédio UAC foi de 130.453,92 kWh/ano, uma redução de mais de 55% e 60%, respectivamente.

3.4.1 Densidade de Potência e Iluminância média

Caso a proposta de *retrofit* fosse aceita pelo *campus*, a densidade de potência instalada passaria ser a apresentada nas Tabelas 9, 10.

Tabela 9 – Sistema de iluminação proposto - Prédio UAC. Fonte: Elaboração Própria.

Local	Potência Luminárias (W)	Quantidade de Luminárias	Quantidade de Lâmpadas
Área Externa	100	6	6
Auditório	100	5	1
	50	68	2
	40	11	2
Banheiros Femininos	20	32	1
Banheiros Masculinos	20	32	1
Barrilete	20	3	1
Biblioteca	40	50	2
Cantina	40	3	2
Circulação	40	79	2
CPD	40	8	2
Depósito (Térreo)	40	1	2
Déposito de Limpeza	20	3	2
Escada	100	4	1
Hall	40	18	2
Hall atendimento	40	4	2
Hall auditório	40	8	2
Hall recepção	40	8	2
Jardim	100	14	2
Reprografia	40	6	2
Rack (Térreo)	40	1	2
Rampa	40	27	2
Salas Tipo I1	40	48	4
	20	24	2
Salas Tipo I3	40	30	4
	20	12	2
Salas Tipo I6	40	30	4
	20	12	2
Salas Tipo I9	40	36	4
	20	18	2
Sala Tipo I10	40	72	4
Sala Tipo I10 Interna	40	3	4
Salas Tipo S1	40	72	4
	20	36	2
Salas Tipo S5	40	24	4
	20	12	2

Salas Tipo S6	40	30	4
	20	12	2
Secretaria	40	14	2
Sala Multiuso 1, 2 e 3	40	13	2
SOU	40	4	2
Subestação/Quadros	40	3	2
Potência total Edifício (W)		75066	

Tabela 10 – Sistema de iluminação proposto - Prédio UED. Fonte: Elaboração Própria.

Local	Potência Luminárias (W)	Quantidade de Luminárias	Quantidade de Lâmpadas
Área Externa	100	6	6
Banheiros Femininos	16	13	1
Banheiros Masculinos	16	13	1
Corredor	40	97	2
Direção	40	6	12
Escada	100	2	2
Hall de Entrada	100	5	5
Hall de Saída	100	5	5
Jardim	100	21	21
Rampa	100	8	8
Sala de Reuniões	40	6	12
Salas - Tipo 1	64	32	64
Salas - Tipo 2	40	112	224
Sala AT 25/29	40	4	8
Sala AT 24/29	40	4	8
Sala AT 22/29	40	4	8
Sala AT 19/29	40	12	24
Sala AT 11/29	40	9	9
Laboratório SS	40	23	46
Lab. NEI + Interna	40	14	28
Laboratório NEI	40	11	22
Lab. De Física	40	11	22
Lab. De Física + Interna	40	14	28
Lab. Eletricidade	40	19	38
Sala Lab. De Materiais	40	10	20

Lab. Termofluidos (S)	100	5	5
	40	5	10
Lab. Termofluidos (I)	40	10	20
Lab. Química	40	14	28
Lab. Análise	40	4	8
Sala AT 11/7 – Copa	40	11	22
Sala AT 11/11 – MOCAP	16	48	48
Sala AT 41/29	40	3	6
Potência total Edifício (W)		25585	

Com isso, sabendo-se que a área iluminada do edifício UED é de 4250 m^2 e do prédio UAC é 4900 m^2 , os índices de densidade de potência instalada após a troca das lâmpadas são de 6,0 e 9,2. Dessa forma, os prédios poderiam ser classificados no quesito de iluminação como nível A. Mesmo que o índice densidade de potência instalada seja menor, o mais importante é manter o nível de iluminância necessário para desempenhar as atividades de cada sala, que pode ser verificado por meio da simulação no software DIALux. A simulação também permitiu, através do recurso energy evaluation realizar uma previsão do consumo de energia atual e qual seria o consumo caso a proposta de *retrofit* fosse aceita.

A partir da simulação da iluminância nas salas, foi possível verificar que mesmo após a troca das lâmpadas, algumas salas ainda estão abaixo da iluminância média necessária, então para adequar a sala à norma pode-se adicionar mais lâmpadas do mesmo tipo ou escolher um outro tipo de lâmpada diferente para a sala, adotou-se foi a primeira opção. Pode-se notar que em alguns momentos o não haverá redução no consumo de energia e sim a manutenção do consumo inicial. Isso ocorre devido ao aumento do número de luminárias nesses ambientes, para o atendimento da norma. Os dados de iluminância média antes das lâmpadas a mais serem adicionadas estão apresentados nas tabelas 11, 13.

A simulação com as novas lâmpadas foi realizada para a mesma data e horário da simulação da situação inicial. Pelo resultado é possível observar novamente que as salas S1 à S4, S6 e S7, S9 e I9, S10 e I10 e as salas internas das duas últimas citadas, possuem uma porcentagem da área da sala que recebe diretamente luz solar e devido a isso os locais onde há essa incidência possuem um valor elevado de iluminância. As demais salas que possuem janelas para a área externa também recebem luz natural, porém, de forma indireta.

Após a simulação com as lâmpadas propostas na Biblioteca, é possível verificar por meio dos resultados de iluminância que os níveis de iluminação não atingem o mí-

Tabela 11 – Iluminância no térreo do prédio UAC.

Sala	Iluminância Simulada (Em - lux)	Luz Natural (%)
Biblioteca	647	-
Biblioteca Computadores	380	-
Salas I1, I4, I5, I8, S5, S8	566 - 599	-
Salas I2, I3	639	-
Salas I6, I7	817	-
Salas S6, S7	765	0,69
Salas I10, S10	1052 - 1126	0,47
Sala I10, S10 Interna	969	0,36
Salas I9, S9	515 - 527	0,35
Salas S1, S2, S3, S4	622	0,32
Secretaria	676	-
Auditório	547	-

Tabela 12 – Iluminância no térreo do prédio UED.

Sala	Iluminância Simulada (Em - lux)	Luz Natural (%)
Laboratório SS	579	-
Laboratório NEI	613	-
Laboratório NEI + Interna	651	-
Laboratório Física	806	0,6
Laboratório Física + Interna	902	0,9
Lab. Eletricidade	874	1,5
Laboratório Materiais	798	1,1
Laboratório Química	789	2,1
Laboratório Análise Inst.	615	2,3
Salas dos Professores - 26	576	-
Laboratório Termofluidos (S)	904	1,5
Laboratório Termofluidos (I)	805	1,8
Sala de Reunião	839	3,6
Direção	576	2,8

nimo necessário em todo o plano de trabalho mesmo após a troca, como é mostrado na comparação das situações na Figura 14. Isso se deve à presença das estantes de livros que bloqueiam a incidência de luz nos corredores entre as estantes. A iluminância média nas estantes pela norma deve ser de 200 lux e na situação proposta ficou 204 nas extremidades das estantes e 143 no centro das estantes. As comparações das demais salas estão no Apêndice A.

3.4.2 Adaptação do *retrofit*

Após analisar os resultados obtidos nas salas de laboratório percebeu-se a grande interferência da luz solar nos resultados, uma vez que o índice de luz natural é maior

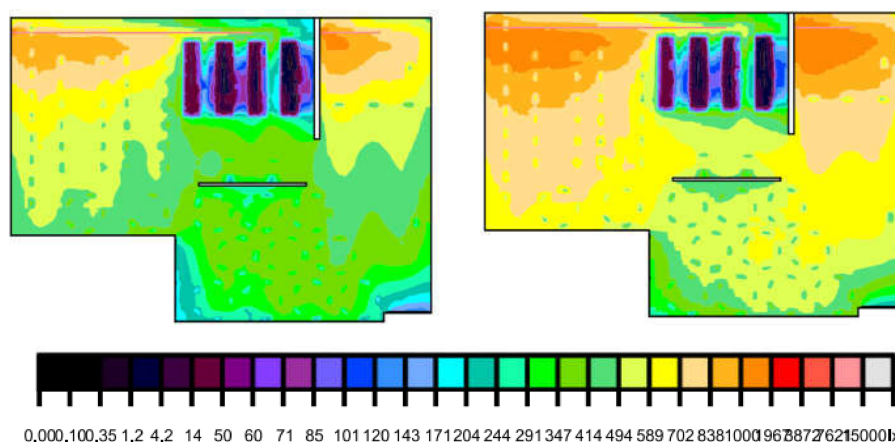


Figura 14 – Gráfico de cores falsas: (a) Situação Atual e (b) Proposta.

que 1% nessas salas. Dessa forma realizou-se simulações sem a luz natural para analisar melhor o desempenho das lâmpadas sugeridas.

Para as salas que não atenderam a norma com a iluminância média necessária, foram adicionadas mais luminárias, sem modificar a localização das luminárias antigas para não adicionar aos custos a mudança de todas luminárias.

Tabela 13 – Iluminância no térreo do prédio UED.

Sala	Iluminância Luz Natural (Em - lux)	Iluminância s/ Luz Natural (Em - lux)
Lab. Eletricidade	874	502
Laboratório Materiais	798	517
Laboratório Química	789	636
Laboratório Análise Inst.	615	574
Laboratório Termofluidos (S)	904	568
Laboratório Termofluidos (I)	805	524
Sala de Reunião	839	501
Direção	576	450

Como observado a iluminação natural aumenta a iluminância média nas salas porém, o sistema de iluminação proposto é capaz de manter a iluminância média nos valores exigidos pela norma, como o caso do laboratório de química mostrado na Figura 15

A sala da direção mesmo com o retrofit não conseguiu manter os níveis de iluminação necessário na ante sala, pois a mesma não possui janelas. Quando foi realizado a simulação sem a luz natural os valores de iluminância reduziram drasticamente. Dessa forma foram adicionados 4 luminárias uma em cada sub-sala da direção. Os resultados da solução aplicada são mostrados na Figura 16.

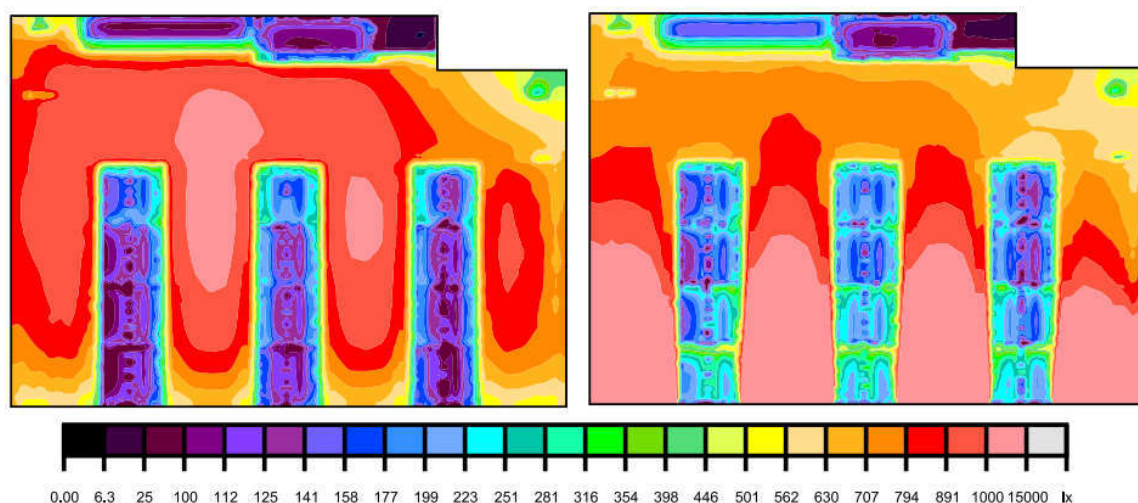


Figura 15 – À esquerda: Resultado do laboratório de química com luz natural. À direita: Resultado do laboratório de química sem luz natural .

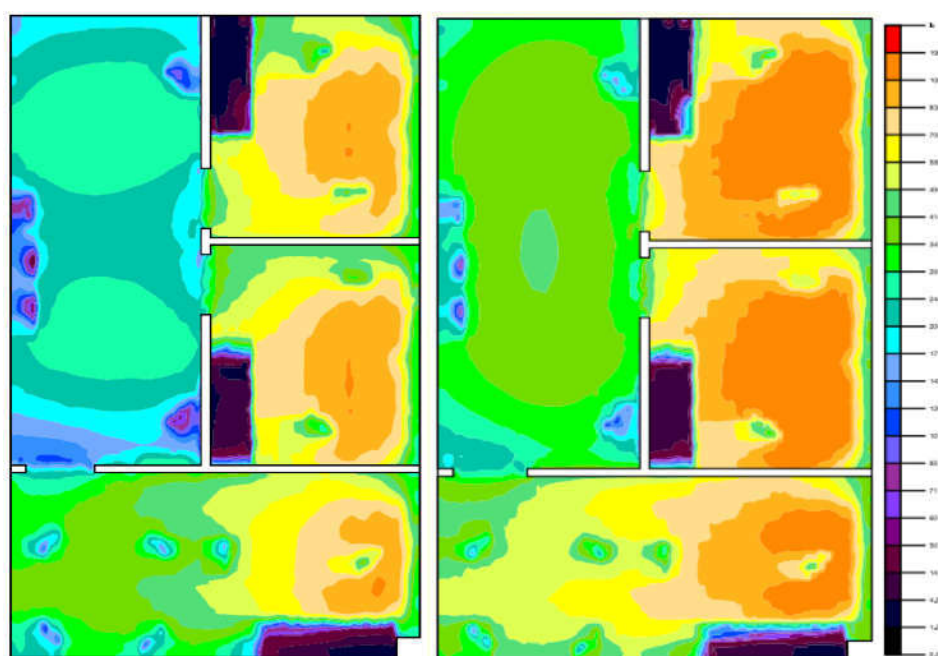


Figura 16 – À esquerda: Resultado da sala da direção com 6 luminárias. À direita: Resultado com 10 luminárias.

3.4.3 Análise Financeira da Proposta

Para a realização da proposta de *retrofit*, são necessários investimentos para que seja realizada a troca das lâmpadas utilizadas. A proposta provê também a redução no consumo de energia elétrica, como visto anteriormente, o que implica em uma diminuição na fatura, proporcionando, em um certo período que o investidor receba o retorno, ou seja, o investimento terá seu payback. Este fator é o que determina a viabilidade da proposta

do ponto de vista financeiro. O investimento inicial na execução do *retrofit* considera os preços de mercado de Junho de 2017 para as lâmpadas LED propostas, bem como o preço da tarifa de energia CEB.

A unidade consumidora (Faculdade UnB Gama) está situada na área de concessão da CEB Distribuição, portanto, as tarifas de energia praticada por esta no ano de 2017 para o subgrupo A4. Com essas informações, os fluxos financeiros foram analisados para um horizonte de 14 anos, vida útil estimada das lâmpadas LED da marca OSRAM utilizadas na proposta. Assim, os dados de fluxo de caixa são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Dados de fluxo de caixa para análise financeira da proposta.

Investimento	R\$ 464.229,20
Economia anual	R\$ 110.253,80
Duração	14 anos

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa a taxa de juros mínima que o investidor deve receber ao realizar o investimento, considerou-se o valor de 10,15% que representa a média da taxa Selic nos anos de 2016 a junho de 2017 (BRASIL, 2017), respeitando a orientação mínima de 8% para a taxa de desconto na avaliação financeira do Manual de Elaboração do Programa de Eficiência Energética da Aneel (ELÉTRICA, 2008).

Foi considerado também o valor de manutenção de troca das lâmpadas de R\$ 25,00 por lâmpada no ano de investimento e no ano 14 que seria o final de vida das lâmpadas. Outra consideração feita foi que o reajuste anual na tarifa de energia seria igual a inflação no ano de 2016. A partir daí, o Valor Presente Líquido (VPL), que define se a proposta é financeiramente viável ou não, bem como a Taxa Interna de Retorno (TIR), que representa a taxa de juros para a qual o VPL é nulo puderam ser encontrados utilizando o programa Excel, e estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para a proposta.

VPL	R\$ 226.788,44
TIR	18%
Payback Simples	4,21 anos
Benefício/Custo	0,49

Desta forma, como o VPL encontrado foi positivo, pode-se concluir que o investimento realizado será compensado pela economia de energia, dentro do seu tempo de vida útil. Além disso, os preços das lâmpadas LED vêm sofrendo queda no mercado, fator que pode contribuir ainda mais para um resultado financeiro satisfatório. A Figura 17 mostra o fluxo de caixa do investimento, bem como o tempo de retorno do capital investido para o valor da TMA adotada.

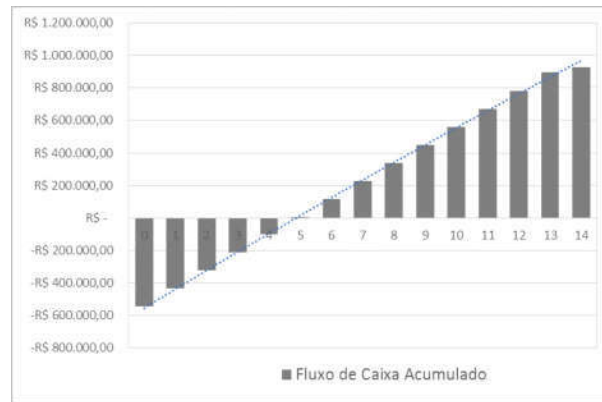


Figura 17 – Fluxo de caixa do investimento no período de 14 anos.

Portanto, para as condições aqui propostas, o investimento será pago em um período de menos de 5 anos de utilização das lâmpadas mais econômicas. A partir daí, toda a economia de energia feita pela utilização das lâmpadas de LED se converterá em lucro.

4 Conclusão

Realizado o levantamento de dados do sistema de iluminação dos edifícios da Universidade de Brasília - *Campus* Gama, pôde-se perceber que os edifícios não possuíam as condições necessárias para a adequação em um nível maior de Eficiência Energética de acordo com as regras dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de EE de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Além disso, atualmente, a maioria das salas não possuem níveis de iluminância necessários para sua adequação a norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 que rege as condições necessárias de iluminação em ambientes de trabalho.

Assim, após as simulações utilizando o software DIALux, a proposta realizada sugere a troca de todas as lâmpadas das edificações por lâmpadas LED que possuem o mesmo formato, não sendo necessária a troca das luminárias. Aliado a isto, os circuitos das salas que não possuem o comando por fileiras paralelas às paredes com janelas que possuem incidência de luz natural, possibilitando seu acionamento isolado, somente quando necessário, devem ser rearranjados.

Se a proposta fosse implantada, o edifício se enquadraria no nível **A** de Eficiência Energética para o sistema de iluminação, estando em acordo com a norma de iluminação em ambientes de trabalho. O estudo de viabilidade financeira resultou em um payback de menos de 5 anos, muito menor que a vida útil média de 14 anos das lâmpadas LEDs sugeridas.

A iniciativa governamental se mostra muito importante, visto que apenas para duas edificações, analisando-se o quesito iluminação a economia anual de energia seria de 219 MWh/ano assim, pouparia uma quantidade considerável de energia. Como todas as edificações públicas devem fazer as adequações, em alguns anos será visível e de extrema relevância a quantia de energia poupada. Como perspectiva de trabalho futuro, pretende-se repetir as medidas em campo, de acordo com a NBR ISO CIE 8995-1. Espera-se que os níveis de iluminância sejam maiores que os obtidos neste trabalho, possibilitando a classificação do edifício em sua forma atual na ENCE e minimizando os investimentos para execução do projeto de *retrofit*.

Sugere-se para trabalhos futuros a classificação dos prédios, proposta de projeto e simulação para os quesitos de sistema de ar condicionado e envoltória no RTQ-C.

Referências

- ABREU, W. G. D. *Identificação de práticas sustentáveis aplicadas às edificações*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2012. Citado na página 19.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/CIE 8995-1:2013: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: interior*. Brasil, 2013. Citado 8 vezes nas páginas 12, 23, 25, 26, 27, 28, 33 e 35.
- BRASIL, B. C. do. Taxa selic. 2017. Acessado em 20/06/2017. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>>. Citado na página 44.
- COSTA, G. J. C. da. *Iluminação econômica: cálculo e avaliação*. [S.l.]: EDIPUCRS, 2006. v. 5. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 26.
- ELÉTRICA, A. N. de E. Manual de elaboração do programa de eficiência energética da aneel. 2008. Acessado em 20/06/2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/aren2008300_2.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 44.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016: Ano base 2015*. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 232 p. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 18.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015*. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 296 p. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.
- ENERDATA. Global energy statistical yearbook 2016. 2016. Acessado em 10/04/2017. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 17.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *International Energy Outlook 2016*. Washington, Estados Unidos, 2016. 290 p. Citado na página 17.
- HOLLANDA, J. B. de; ERBER, P. Energy efficiency in brazil. p. 68–77, 2009. Citado na página 18.
- JANNUZZI, G. et al. Energia. recomendações para uma estratégia nacional de combate ao desperdício. *Energy Technology Innovation Project. Brasília: USAID*, 2001. Citado na página 19.
- KRAUSE, C. B. e. a.; MAIA, J. L. P. *Manual de prédios eficientes em energia elétrica*. Rio de Janeiro, Brasil, 2002. 230 p. Citado na página 21.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. *Eficiência energética na arquitetura*. 3. ed. Florianópolis: PROCEL, 2002. ISBN ISBN. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 21.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Plano Nacional de Energia 2030*. Rio de Janeiro, Brasil, 2007. 206 p. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA AND EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *NOTA TÉCNICA DEA 13/14: Demanda de Energia 2050*. Rio de Janeiro, Brasil, 2014. 296 p. Citado na página 18.

PROCEL EDIFICA. *Manual para Aplicação do RTQ-C*. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 213 p. Acessado em 10/04/2017. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual_rtqc2016.pdf>. Citado 7 vezes nas páginas 9, 12, 19, 20, 21, 28 e 29.

SAMPAIO, H. C.; BOTURA, C. A.; LOURENÇOJUNIOR, J. Conservação de energia em sistema de iluminação. *Revista de Gestão & Tecnologia*, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

Apêndices

APÊNDICE A – Simulação do Prédio UAC

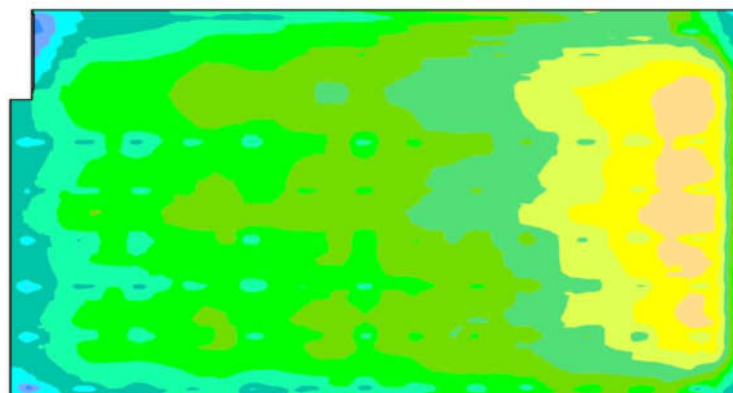
A.1 – Sala I9

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: I9.

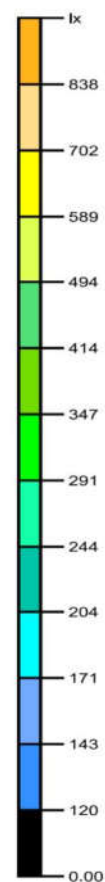
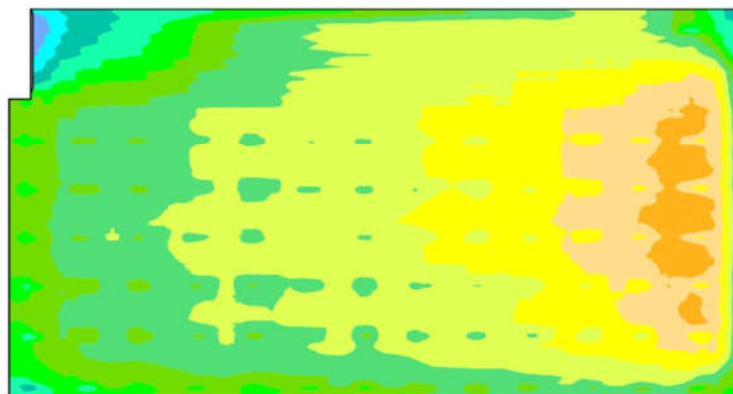
A



B



C



Scale 1:75

Figura 18: (a) Representação 3D da sala I9, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

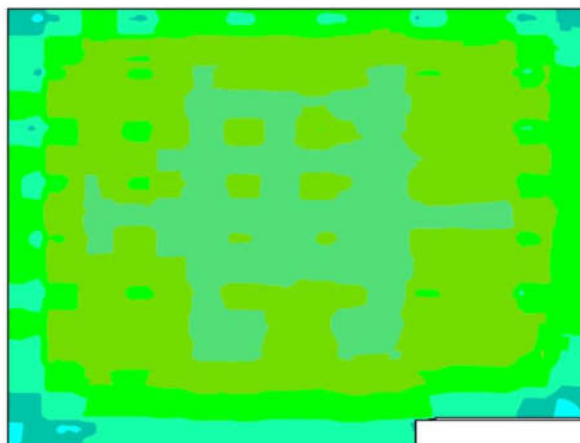
A.2 – Sala I8

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: I8.

A



B



C

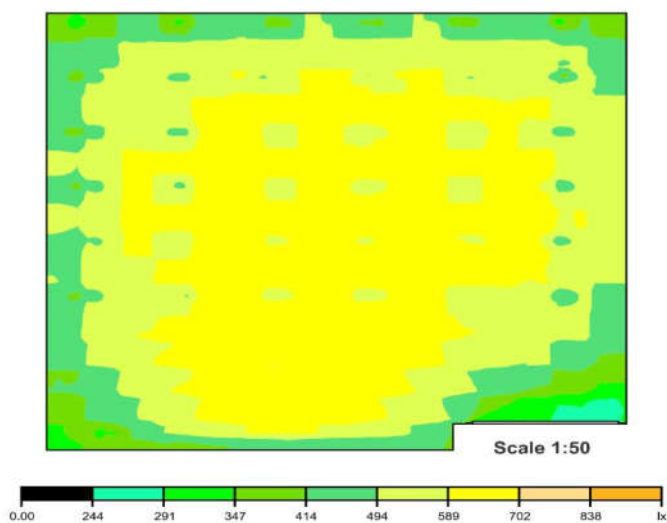


Figura 19: (a) Representação 3D da sala I8, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*

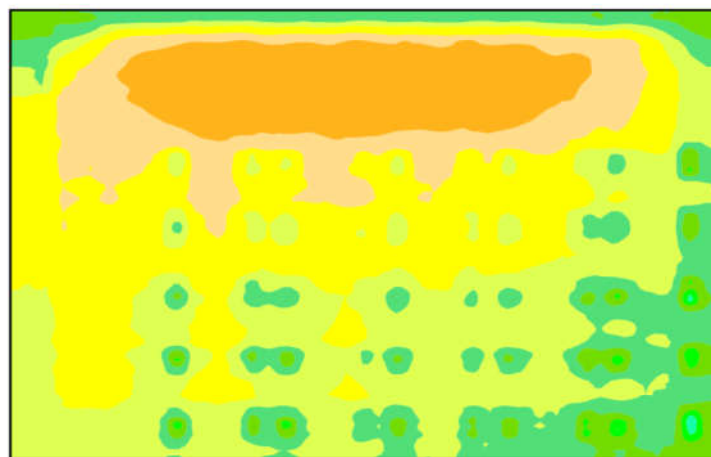
A.3 – Sala I7

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: I7.

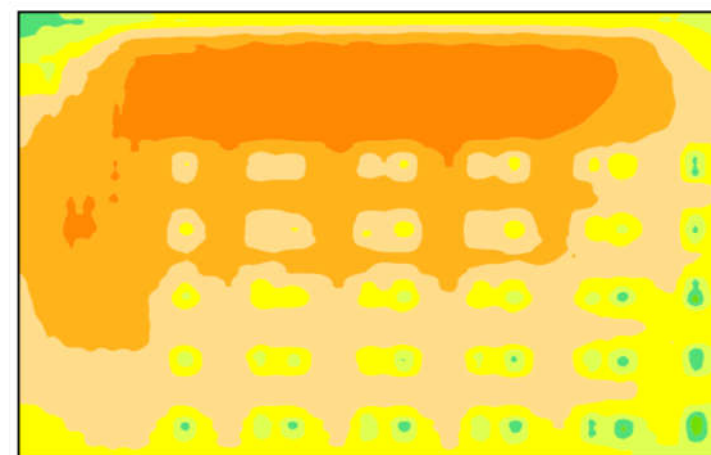
A



B



C



Scale 1:75

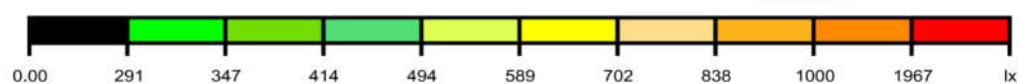


Figura 20: (a) Representação 3D da sala I7, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

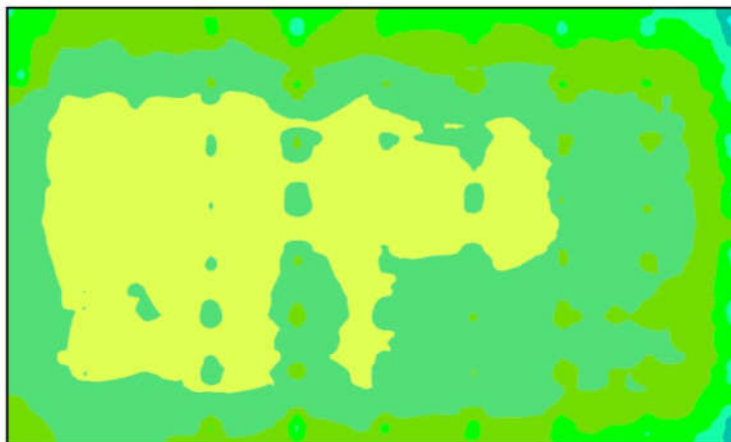
A.4 – Sala I3

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: I3.

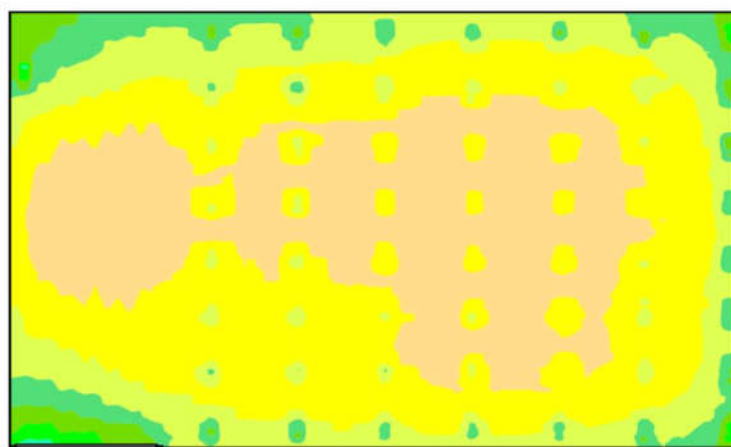
A



B



C



Scale 1:75

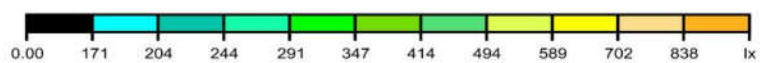


Figura 21: (a) Representação 3D da sala I3, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

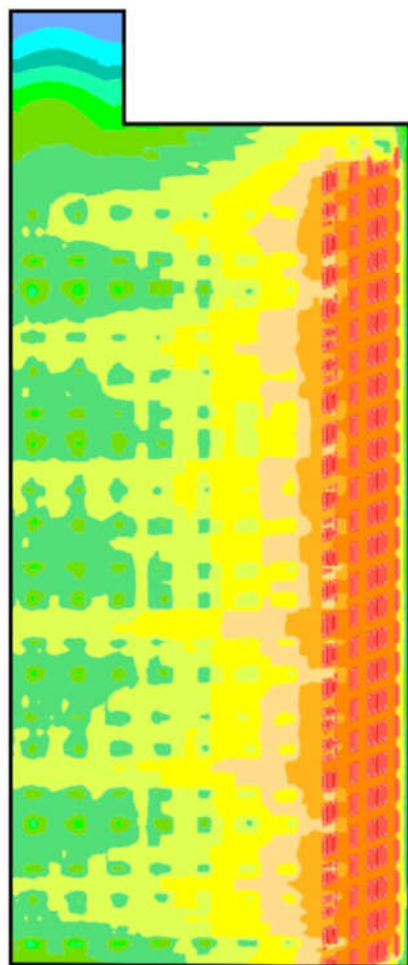
A.5 – Sala I10

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: I10.

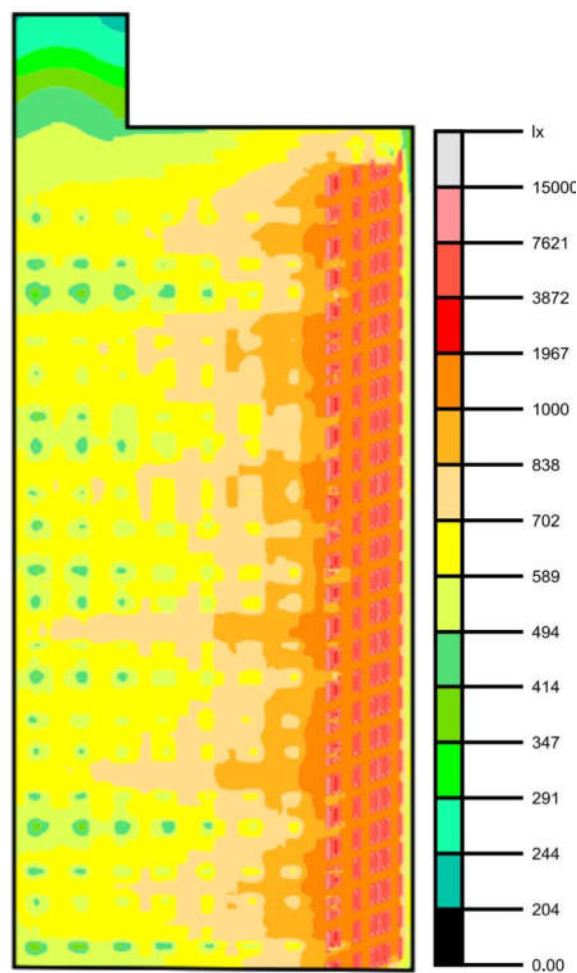
A



B



C



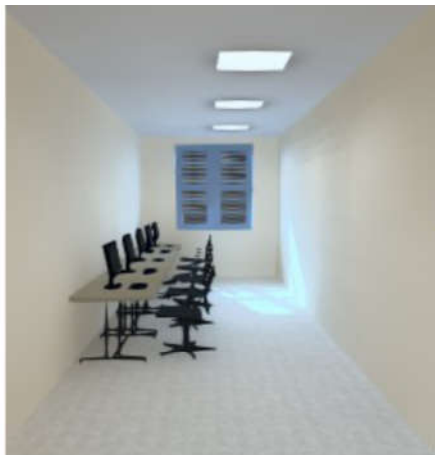
Scale 1:200

Figura 22: (a) Representação 3D da sala I10, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

A.6 – Sala I10 Interna

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: I10 interna.

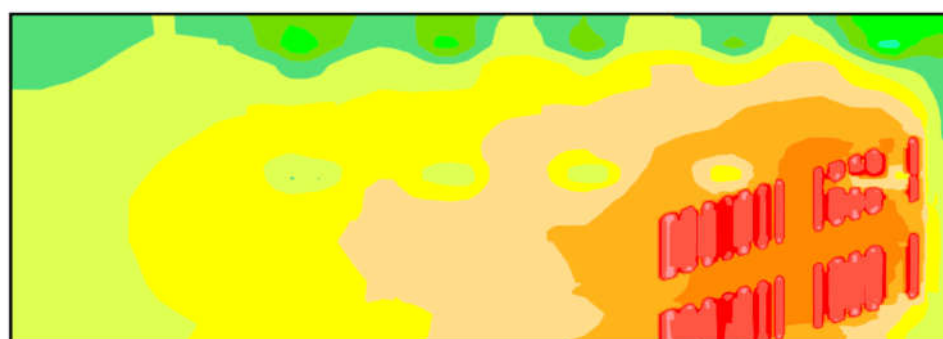
A



B



C



Scale 1:50

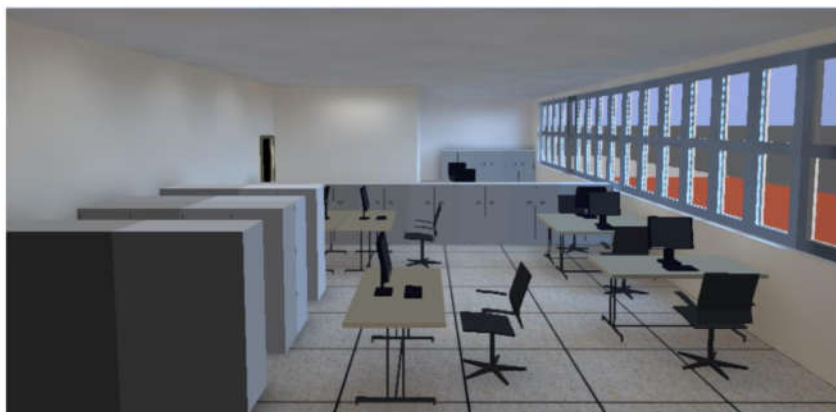


Figura 23: (a) Representação 3D da sala I10 interna, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

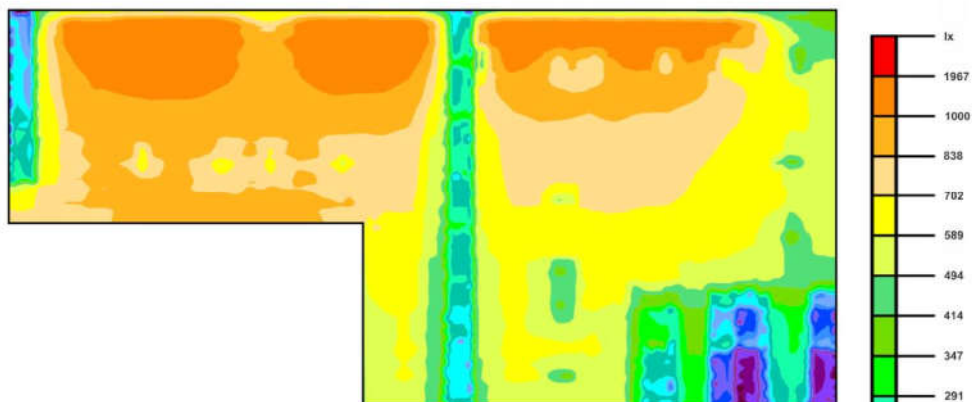
A.7 – Sala Secretaria

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: Secretaria.

A



B



C

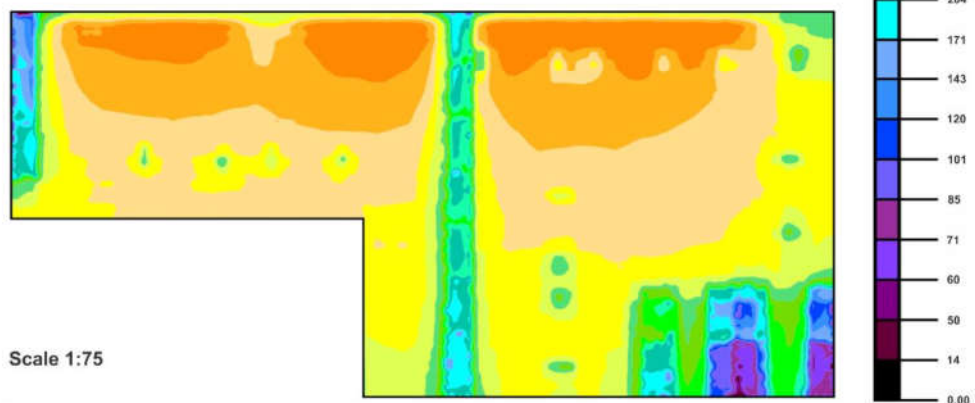


Figura 24: (a) Representação 3D da secretaria, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

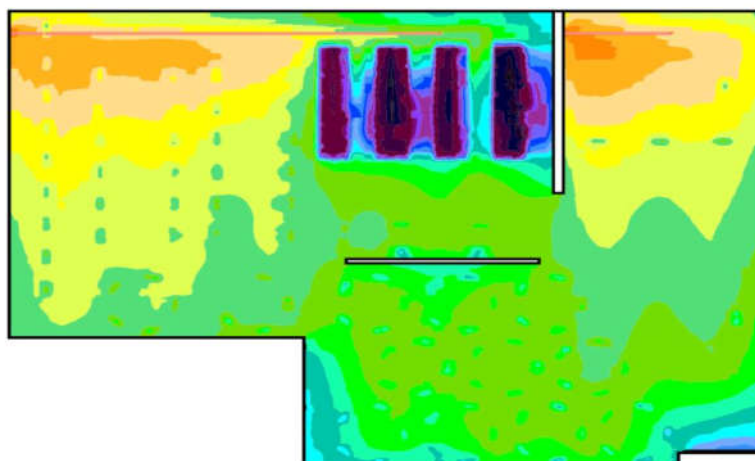
A.8 – Biblioteca

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: Biblioteca.

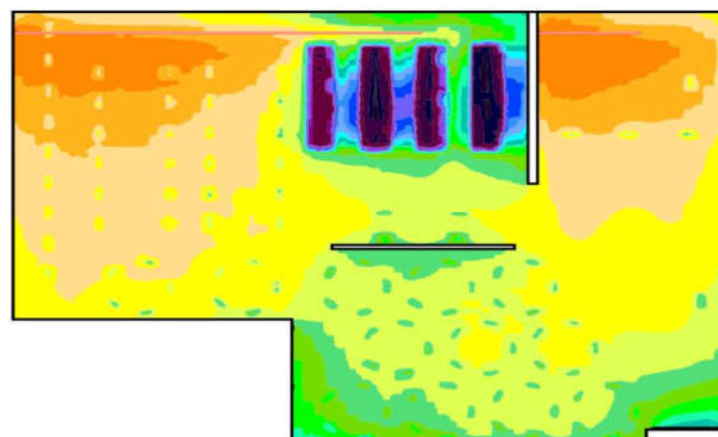
A



B



C



Scale 1:75

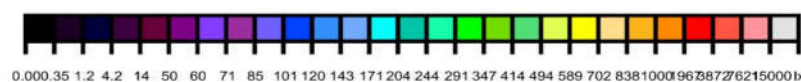
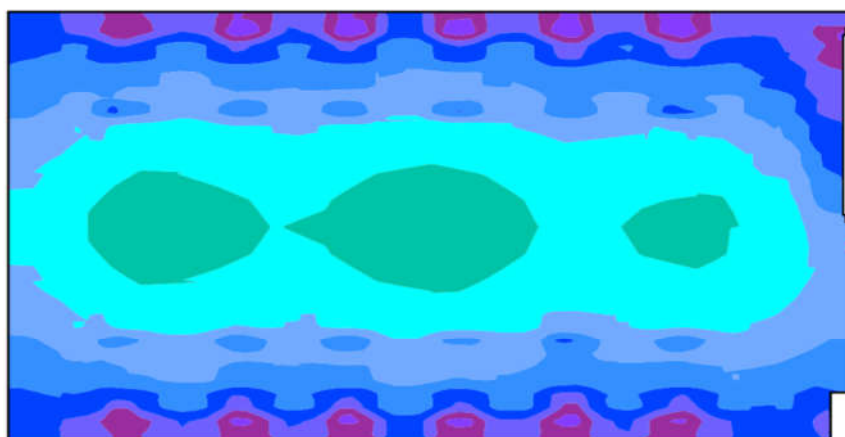


Figura 25: (a) Representação 3D da biblioteca, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

A.9 – Biblioteca interna

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: Biblioteca interna.

A



C

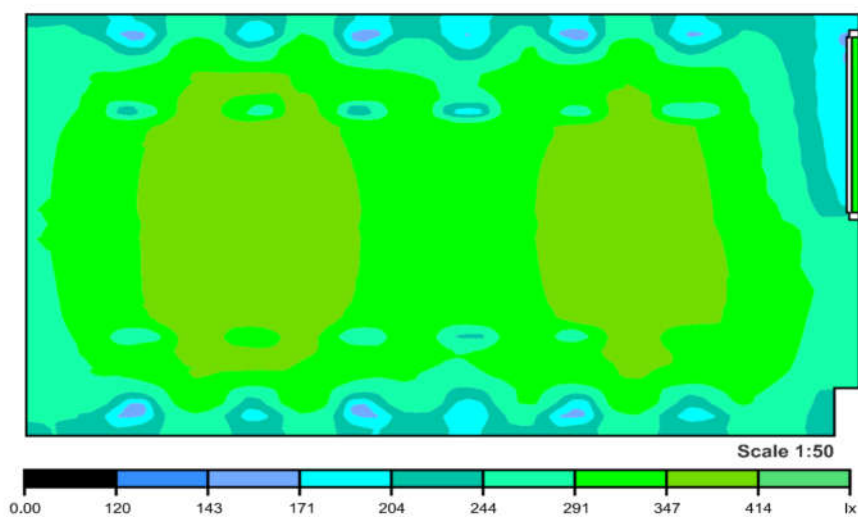


Figura 26: (a) Representação 3D da sala interna da biblioteca, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

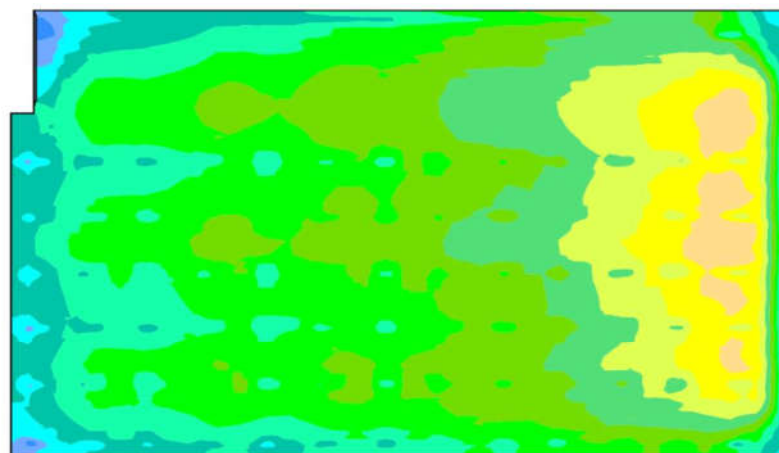
A.10 – Sala S9

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: S9.

A



B



C



Scale 1:75

Figura 27: (a) Representação 3D da sala S9, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

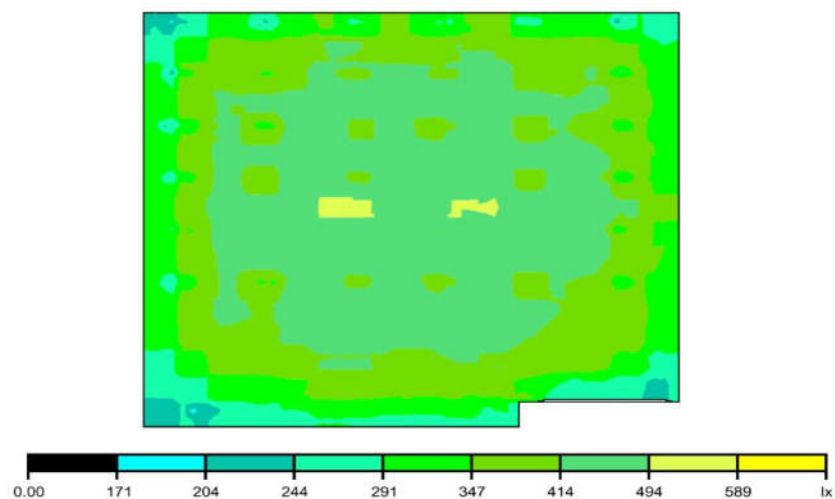
A.11 – Sala S8

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: S8.

A



B



C

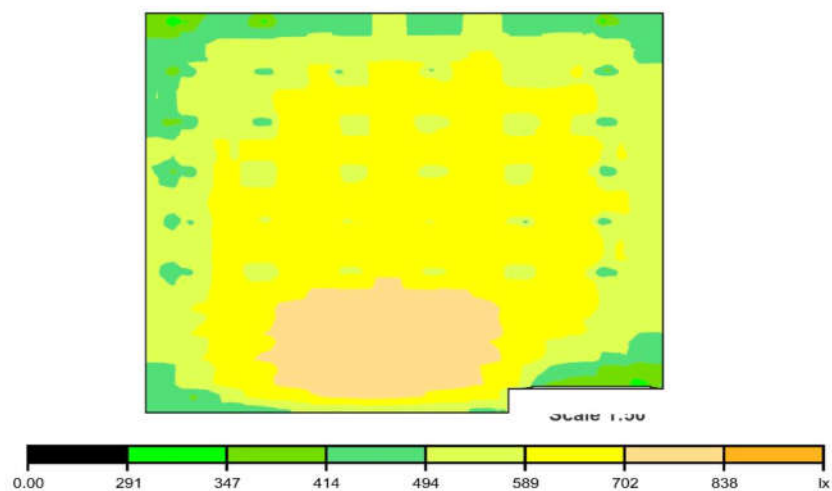


Figura 28: (a) Representação 3D da sala S8, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

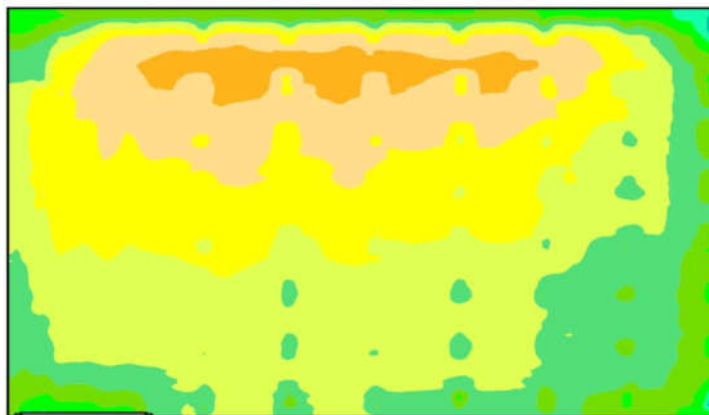
A.12 – Sala S7

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: S7.

A



B



C

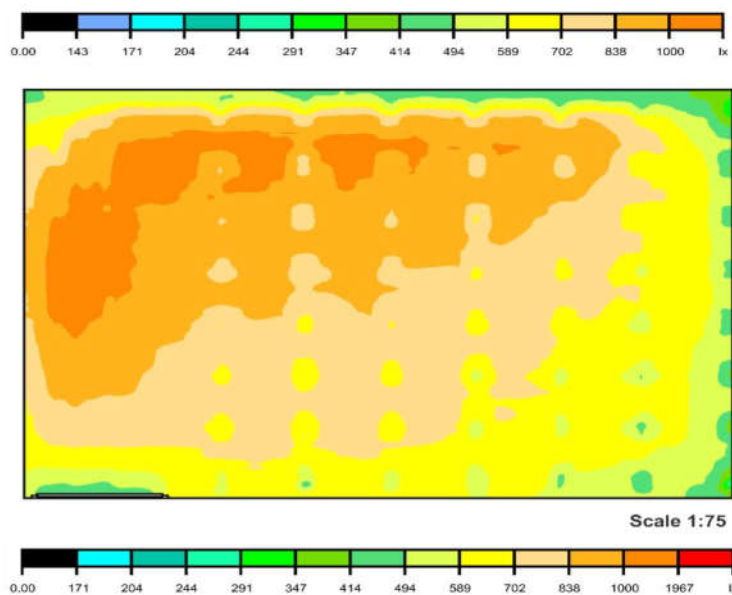


Figura 29: (a) Representação 3D da sala S7, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

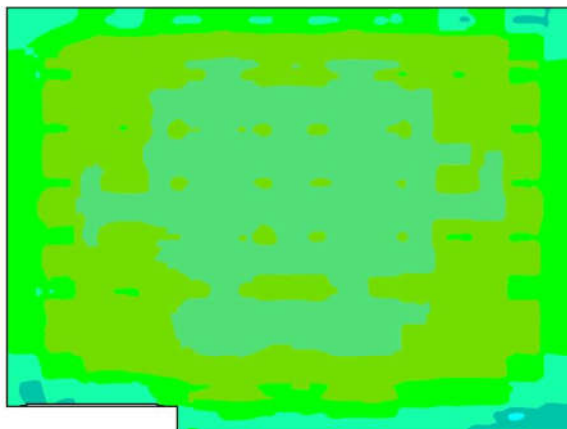
A.13 – Sala S5

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: S5.

A



B



C

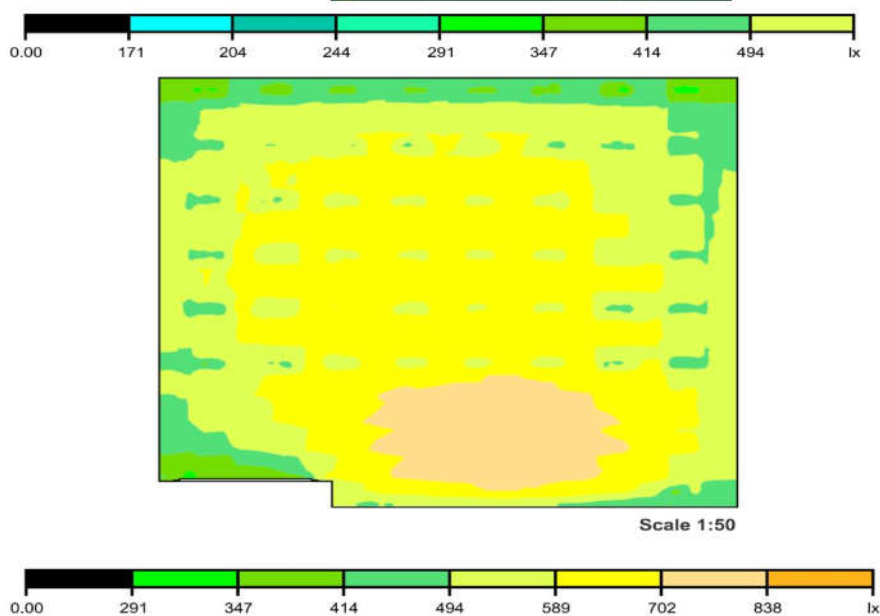


Figura 30: (a) Representação 3D da sala S5, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

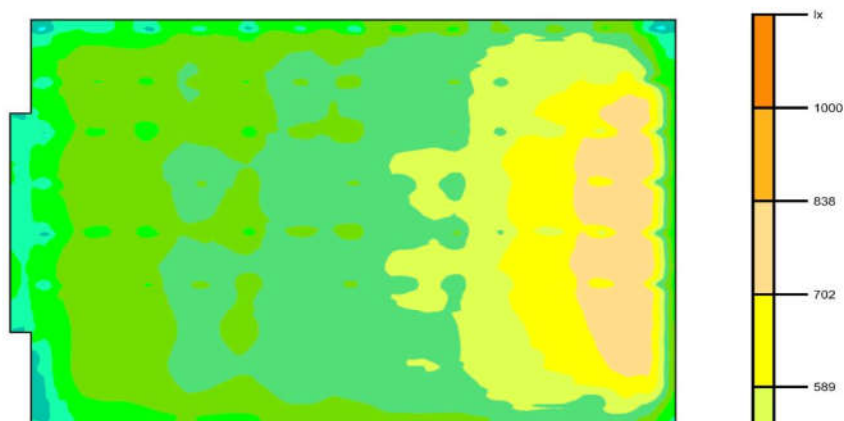
A.14 – Sala S4

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: S4.

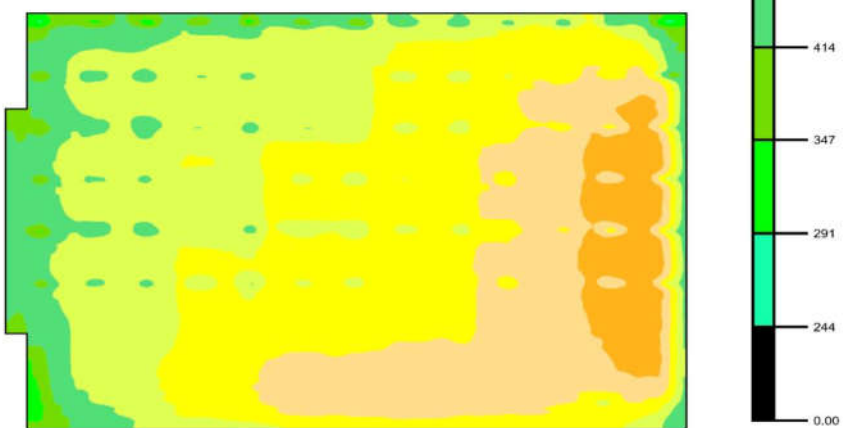
A



B



C



Scale 1:75

Figura 31: (a) Representação 3D da sala S4, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

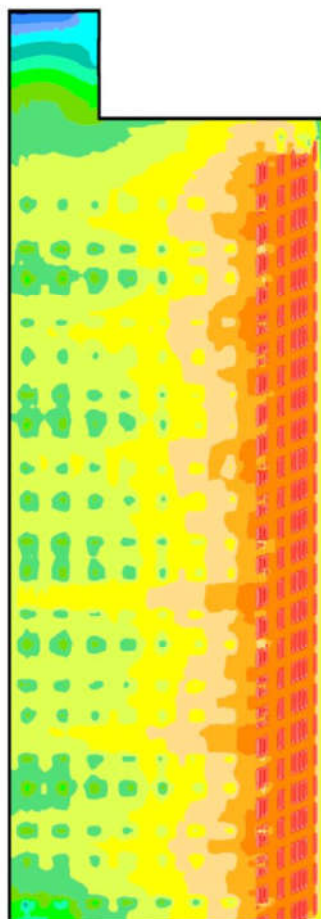
A.15 – Sala S10

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: S10.

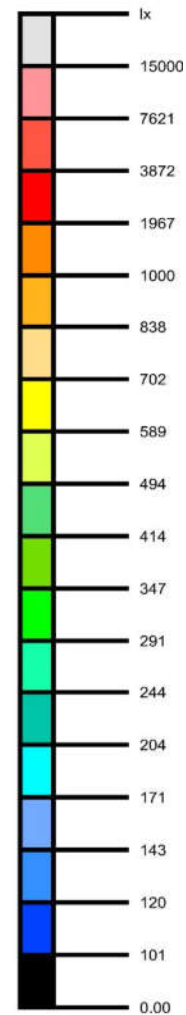
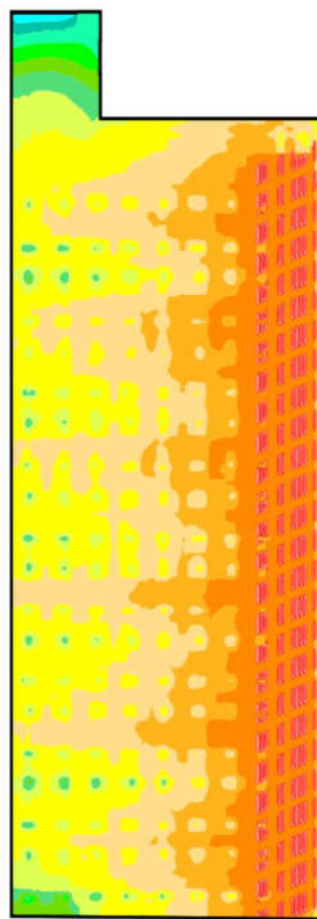
A



B



C



Scale 1:200

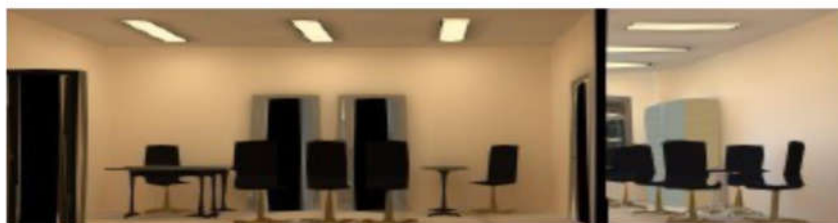
Figura 32: (a) Representação 3D da sala S10, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

APÊNDICE B – Simulação do Prédio UED

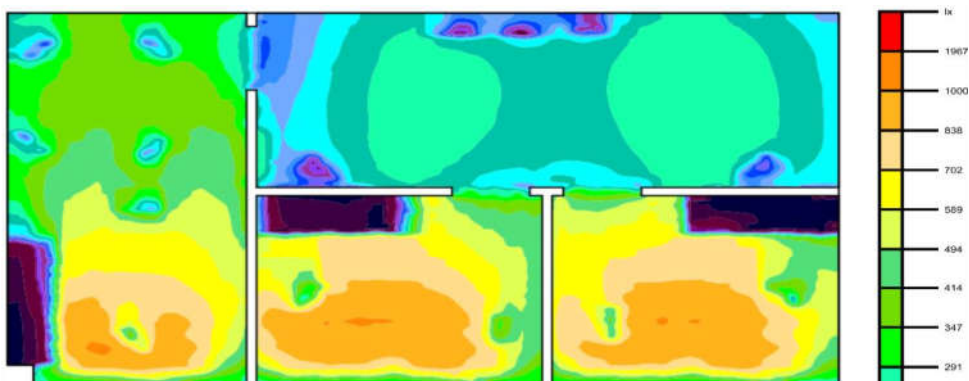
B.1 – Direção

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: direção.

A



B



C

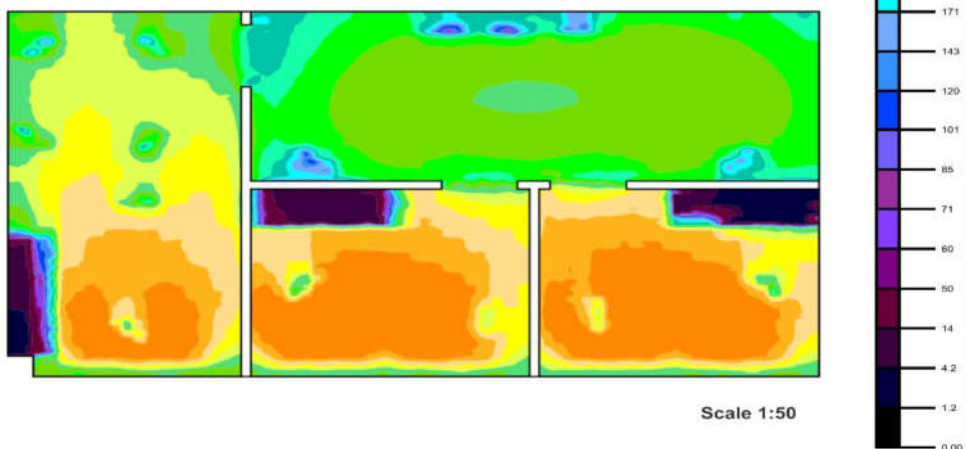
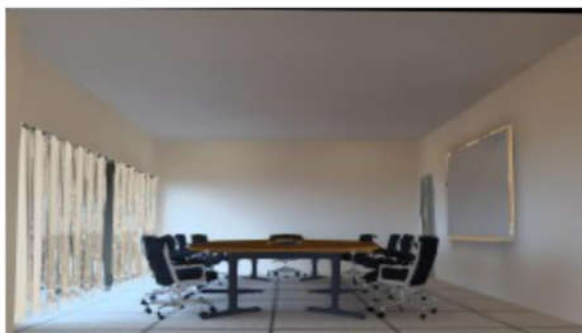


Figura 33: (a) Representação 3D da direção, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

B.2 – Sala de Reunião

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação da sala: de reunião.

A



B



C



Scale 1:50

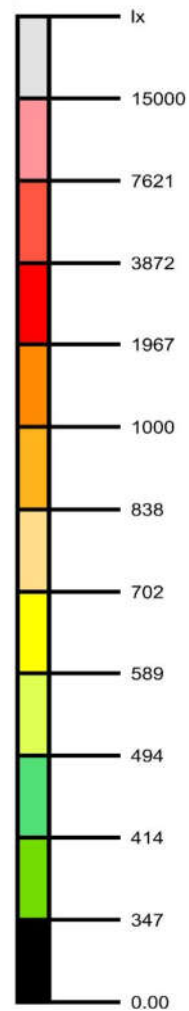


Figura 34: (a) Representação 3D da sala de reunião, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

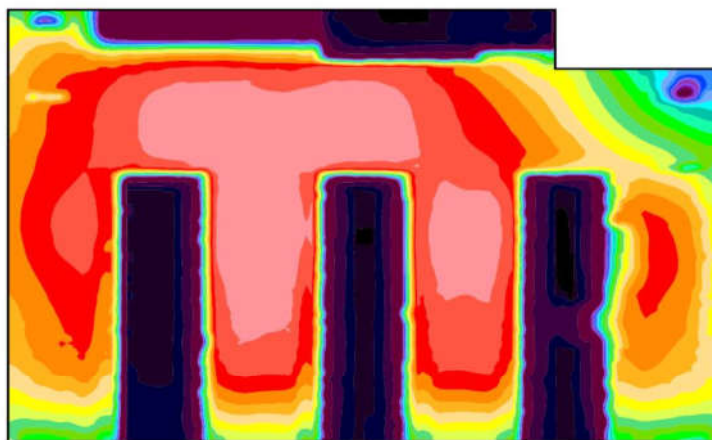
B.3 – Laboratório de Química

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação do laboratório: Química.

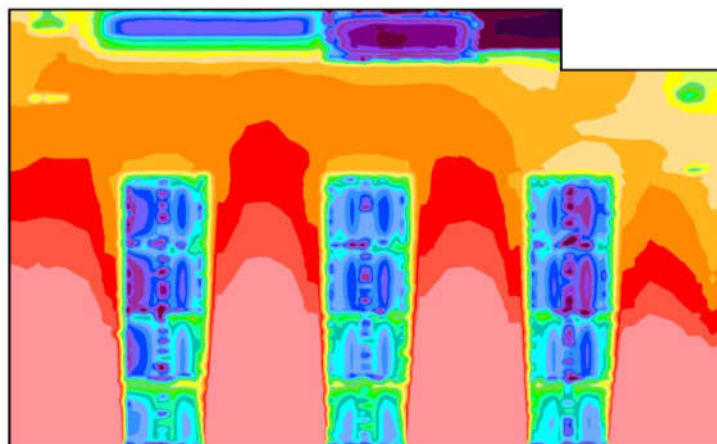
A



B



C



Scale 1:75

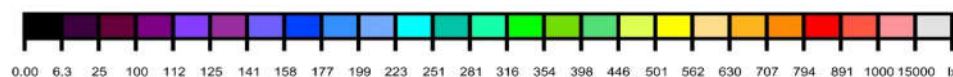


Figura 35: (a) Representação 3D do laboratório de química, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

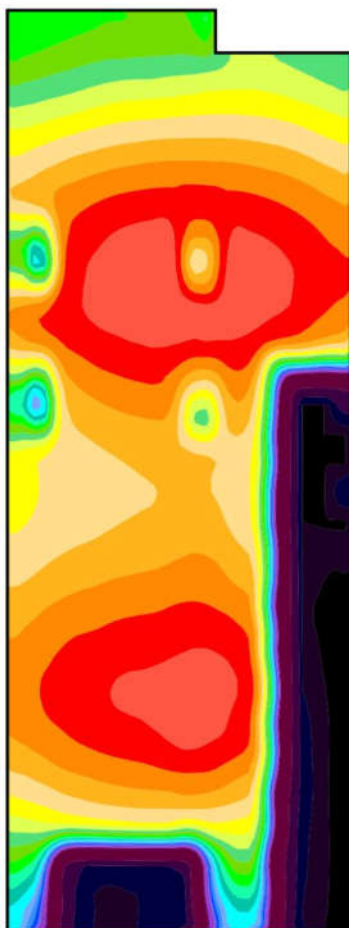
B.4 – Laboratório de Análise Instrumental

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação do laboratório: análise instrumental.

A



B



C

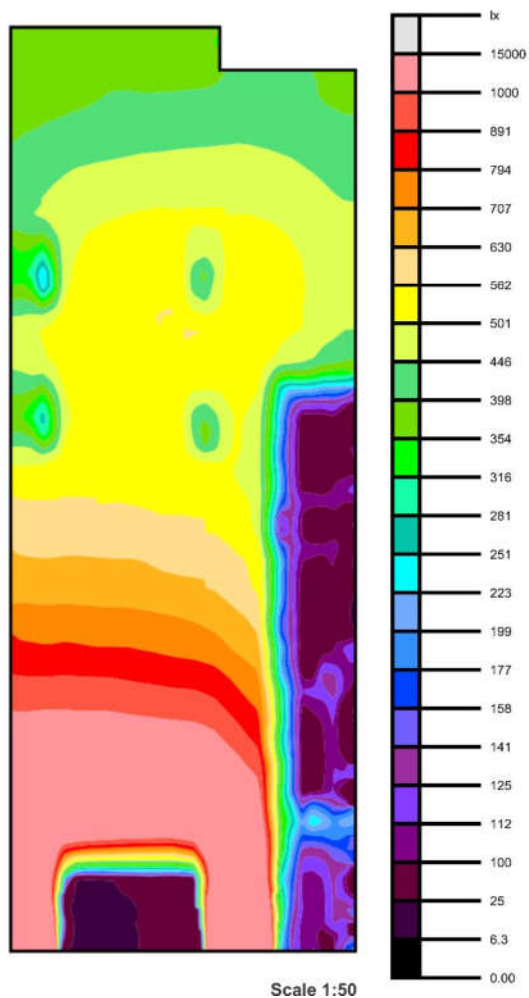


Figura 36: (a) Representação 3D do laboratório de análise instrumental, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

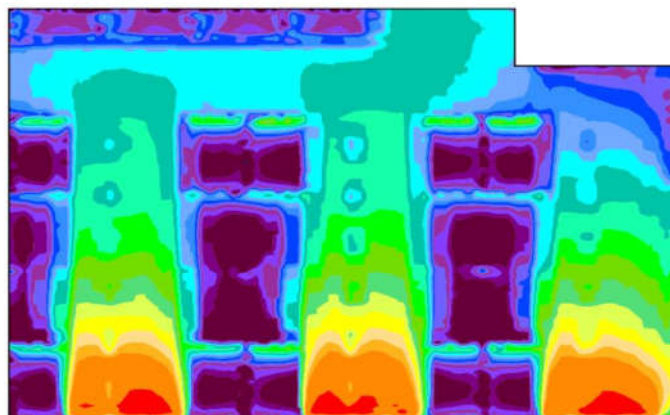
B.5 – Laboratório de Física - 1

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação do laboratório: física - 1.

A



B



C

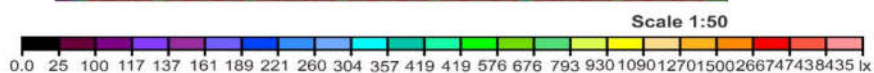
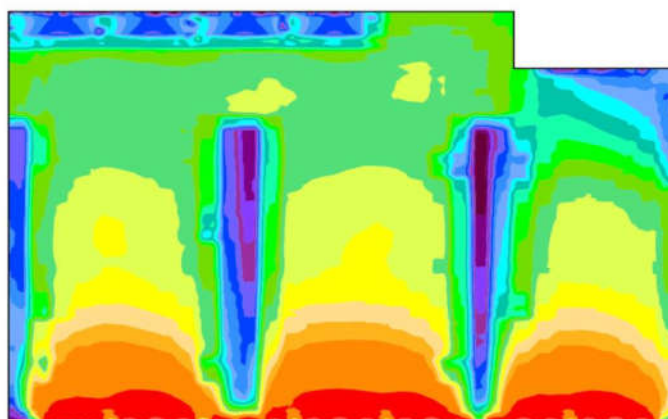


Figura 37: (a) Representação 3D do laboratório de física - 1, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

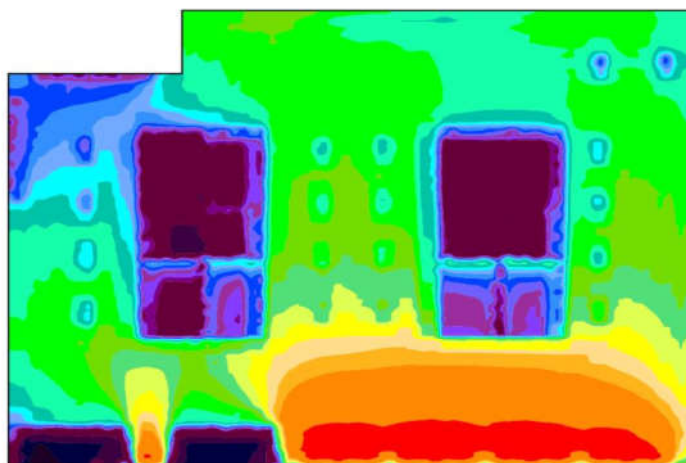
B.6 – Laboratório de Física - 2

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação do laboratório: física - 2.

A



B



C

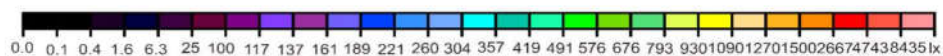
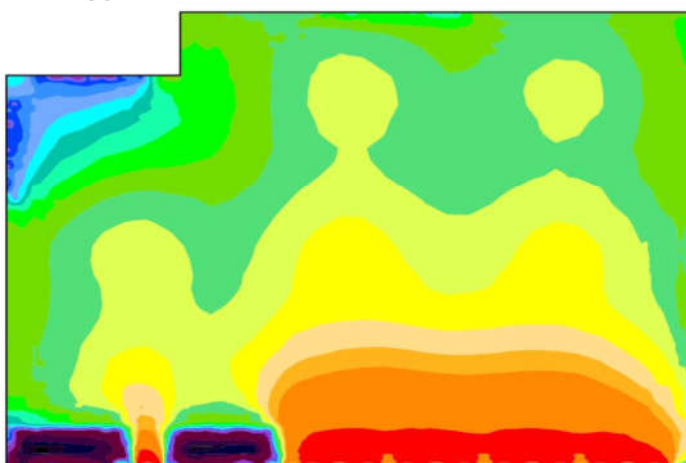


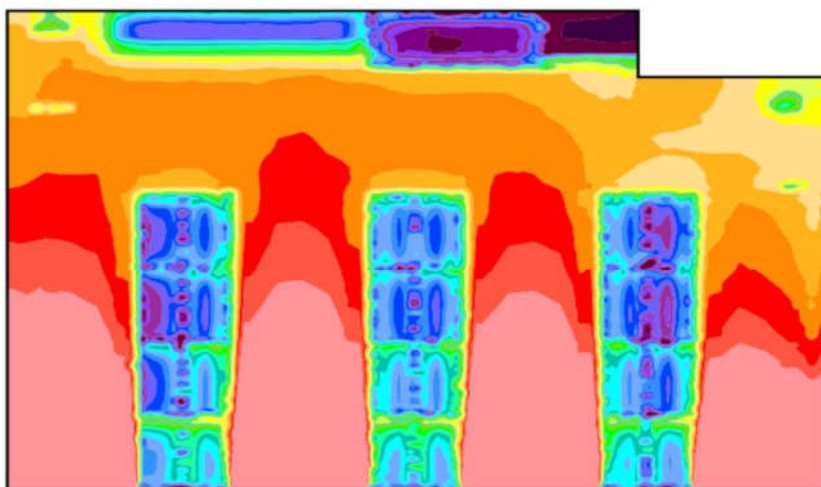
Figura 38: (a) Representação 3D do laboratório de física - 2, (b) resultado da simulação inicial e (c) resultado da simulação do *retrofit*.

APÊNDICE C – Simulação Sem Luz Natural

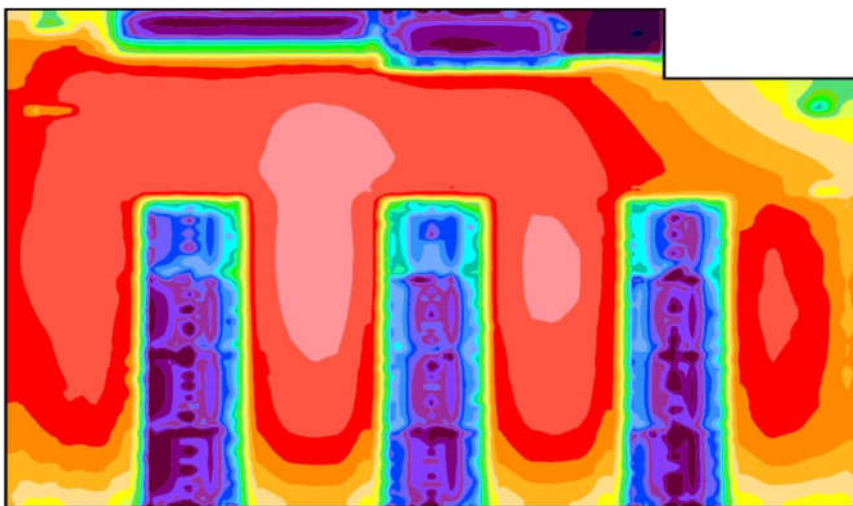
C.1 – Laboratório de Química

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação com e sem luz natural do laboratório: química.

A



B



Scale 1:75

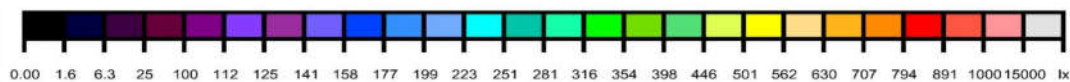


Figura 38: (a) Resultado da simulação com luz natural no laboratório de química e (b) resultado da simulação da simulação sem luz natural.

C.2 – Laboratório de Análise Instrumental

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação com e sem luz natural do laboratório: análise instrumental.

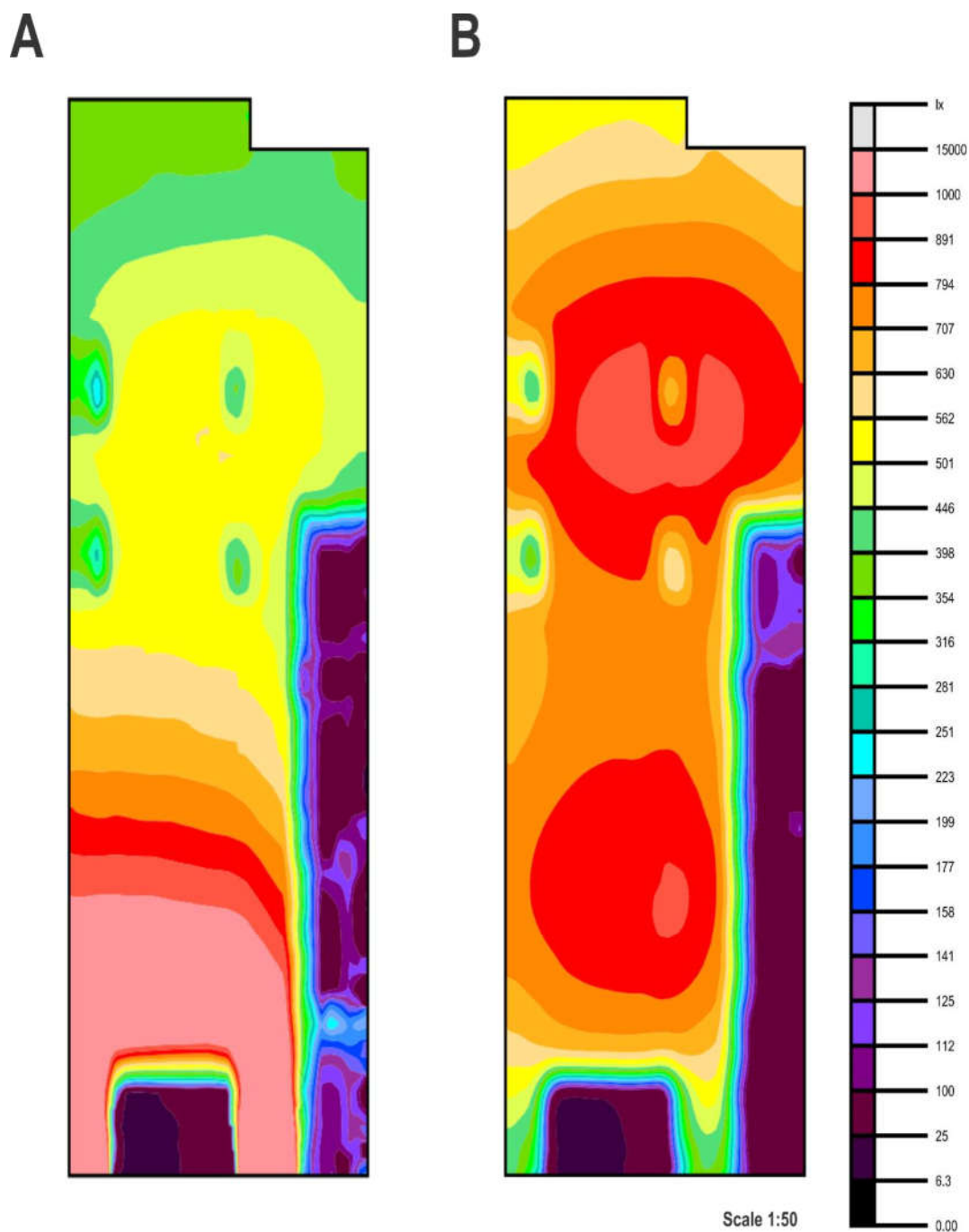


Figura 38: (a) Resultado da simulação com luz natural no laboratório de análise instrumental e (b) resultado da simulação da simulação sem luz natural.

C.3 – Direção

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação com e sem luz natural da sala: direção.

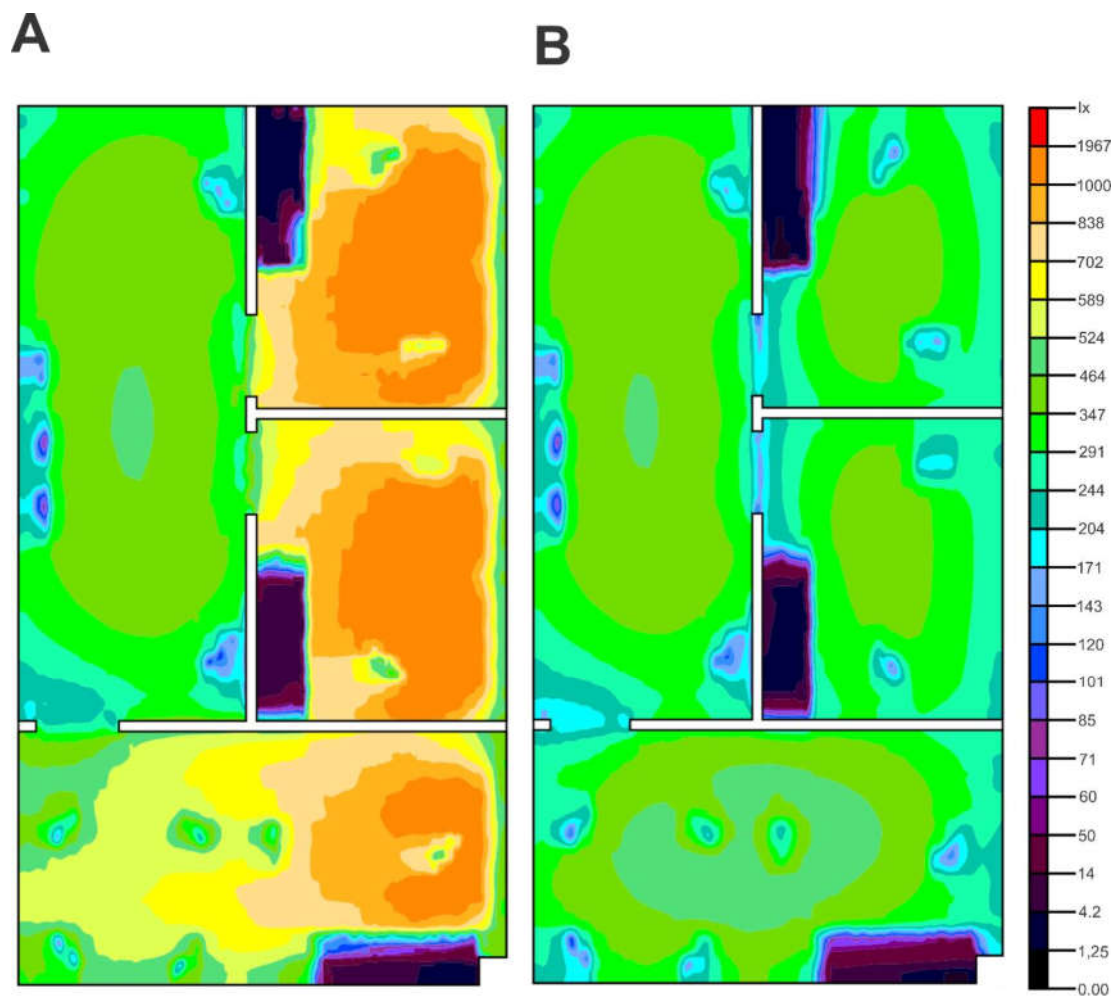


Figura 38: (a) Resultado da simulação com luz natural na sala da direção e (b) resultado da simulação da simulação sem luz natural.

C.4 – Sala de Reunião

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação com e sem luz natural da sala: de reunião.

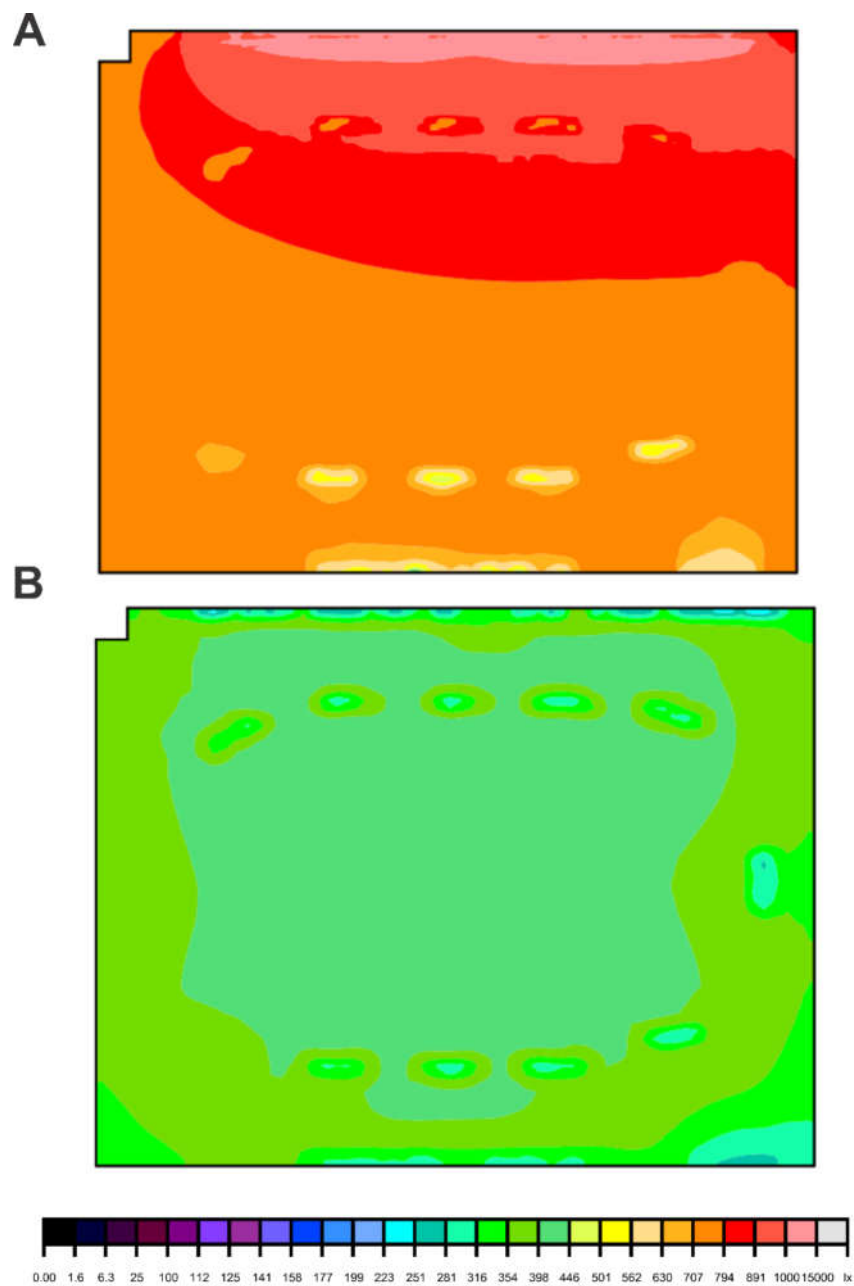
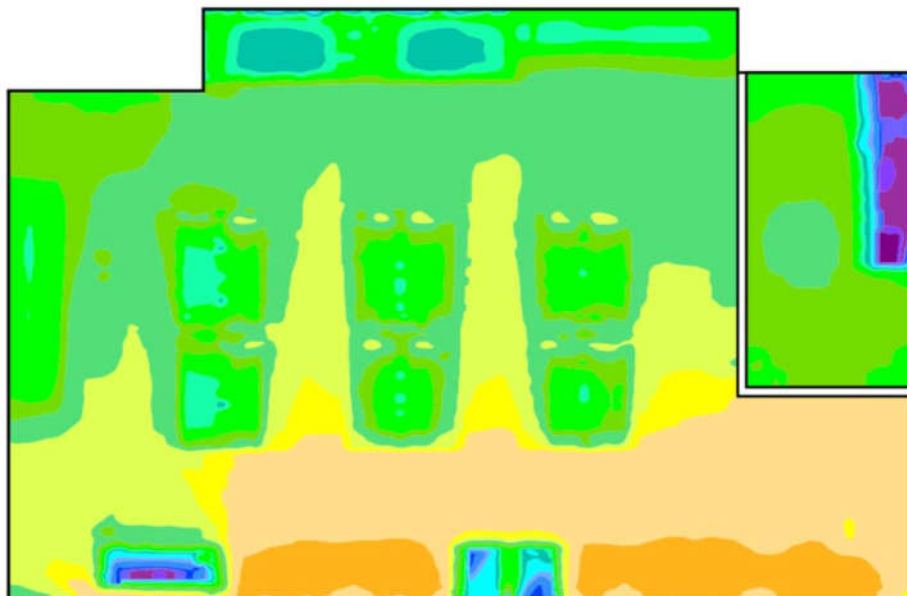


Figura 38: (a) Resultado da simulação com luz natural na sala de reunião e (b) resultado da simulação da simulação sem luz natural.

C.5 – Laboratório de Materiais

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação com e sem luz natural do laboratório: materiais.

A



B

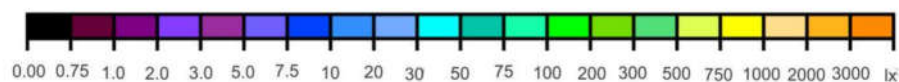
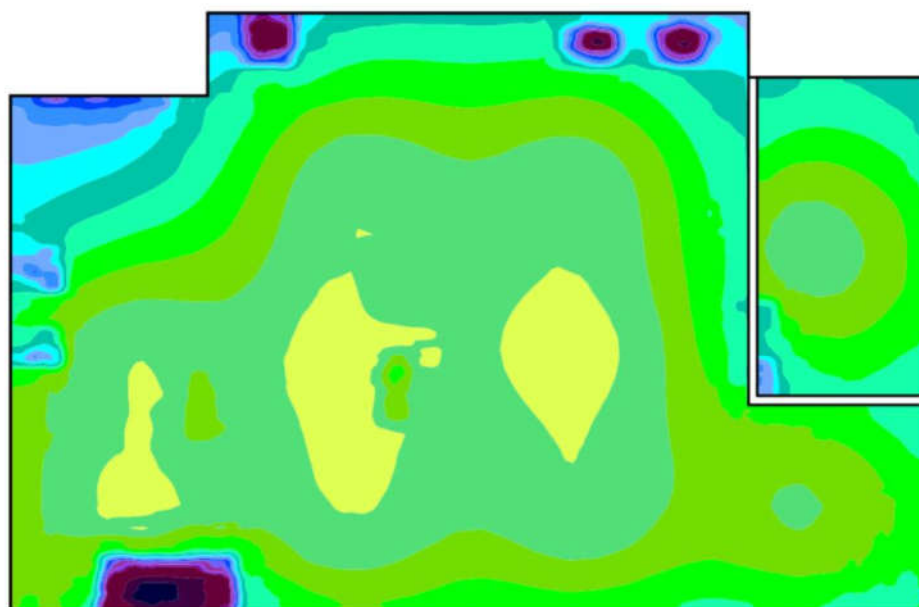
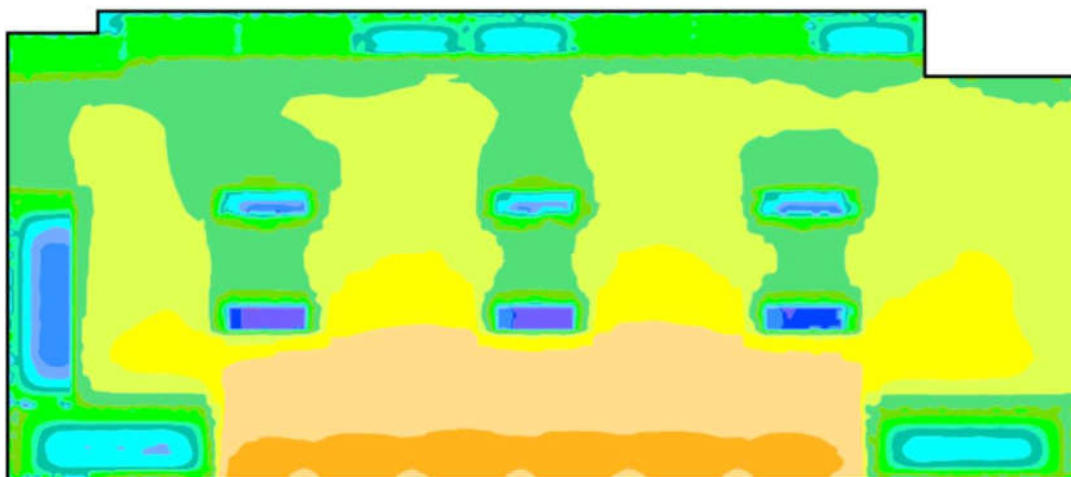


Figura 38: (a) Resultado da simulação com luz natural na sala de reunião e (b) resultado da simulação da simulação sem luz natural.

C.6 – Laboratório de Eletricidade

Comparação dos resultados da análise de qualidade de iluminação com e sem luz natural do laboratório: eletricidade.

A



B

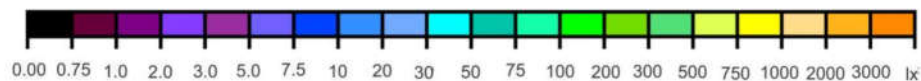
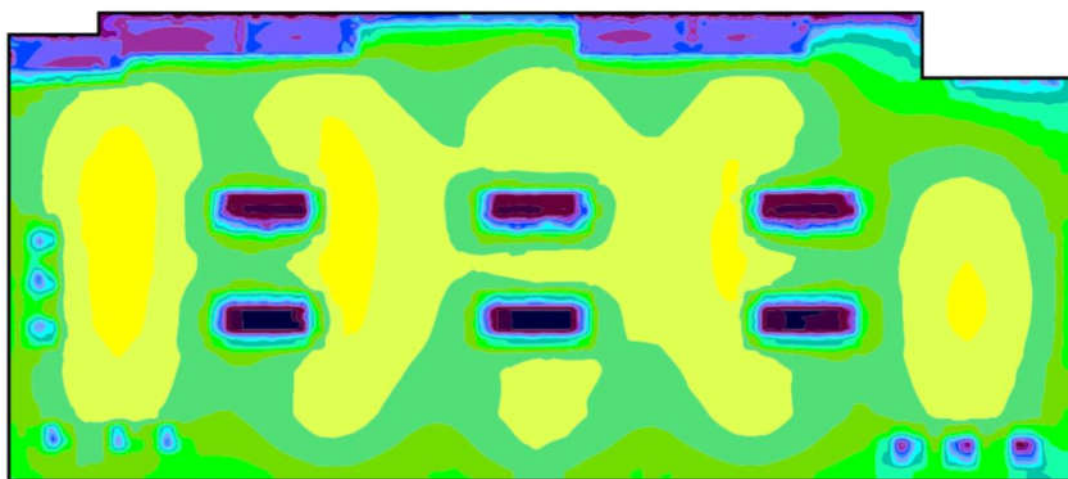


Figura 38: (a) Resultado da simulação com luz natural na sala de reunião e (b) resultado da simulação da simulação sem luz natural.